

บทที่ 5

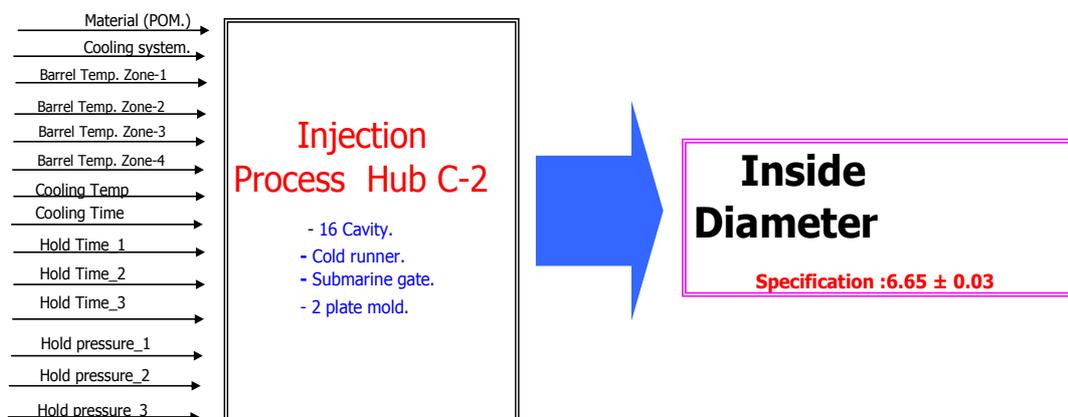
ผลการทดลองและการวิเคราะห์

ผลงานวิจัยฉบับนี้ได้ถูกออกแบบและกำหนดขั้นตอนการทดลองไว้ 3 ขั้นตอนด้วยกัน โดยมีวัตถุประสงค์ในการปรับปรุงคุณภาพขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Hub-C2 ซึ่งเป็นลักษณะคุณภาพที่มีความสำคัญต่อการนำไปใช้งาน โดยที่ผลการปรับปรุงจะใช้ดัชนีความสามารถของกระบวนการเป็นตัววัดผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลจะสามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วนด้วยกัน คือ

- ผลการทดลองและการวิเคราะห์การทดลองขั้นต้น
- ผลการทดลองและการวิเคราะห์การทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม
- ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูลในส่วนของ การทดลองเพื่อยืนยันผล

5.1 ผลการทดลองและการวิเคราะห์การทดลองขั้นต้น

การทดลองขั้นต้นเป็นการทดลองเพื่อศึกษาปัจจัยของกระบวนการฉีดพลาสติกที่ส่งผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Hub-C2 โดยใช้หลักการออกแบบการทดลองตามวิธีการของทากูชิซึ่งเป็นวิธีการที่เหมาะสมกับการศึกษาปัจจัยหลายๆ ปัจจัยเพราะการออกแบบการทดลองแบบทากูชิสามารถประหยัดเวลาและลดค่าใช้จ่ายได้สูงมาก เมื่อเทียบกับการออกแบบการทดลองแบบ Full Factorial Design หรือการทดลองในภาพแบบอื่นๆ ซึ่งหากพิจารณาในงานวิจัยฉบับนี้ที่ต้องทำการศึกษาปัจจัยทั้งหมด 14 ปัจจัย ดังแสดงในแผนภูมิ IPO Matrix ภาพที่ 5.1 โดยมีปัจจัยและระดับของปัจจัยดังแสดงในตารางที่ 5.1 ซึ่งหากนำมาทำการออกแบบการทดลองแบบ Full Factorial Design (2^k Factorial Design) จำเป็นจะต้องทำการทดลองทั้งหมด 16,384 ครั้ง ซึ่งมีค่าใช้จ่ายสูงและใช้เวลาในการทดลองยาวนานแต่หากเปรียบเทียบกับวิธีการออกแบบการทดลองตามวิธีการของทากูชินั้นจำนวนครั้งในการทดลองจะกระทำเพียง 32 การทดลองหรือ 16 การทดลองซึ่งขึ้นอยู่กับผู้ทำการทดลองจะเลือกนำไปใช้



ภาพที่ 5.1 แผนภูมิ IPO matrix โดยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้า (Input) กระบวนการ (Process) และปัจจัยส่งออก (Output)

ตารางที่ 5.1 ปัจจัยและระดับปัจจัยที่ใช้ในการทดลองเบื้องต้น

No.	Candidate Factor.	Symbol.	Level_1	Level_2	Unit.
1	Material.	A	POM_A	POM_B	
2	Cooling system.	B	Series.	Parallel	
3	Barrel Temp_1	C	180	210	C°
4	Barrel Temp_2	D	190	220	C°
5	Barrel Temp_3	E	180	210	C°
6	Barrel Temp_4	F	165	195	C°
7	Cooling Temperature	G	60	70	Sec.
8	Cooling Time	H	2	5	C°
9	Holding Time_1	J	0.5	2.5	Sec.
10	Holding Time_2	K	0.5	2.5	Sec.
11	Holding Time_3	L	1.5	4.5	Sec.
12	Holding Pressure_1	M	350	450	Kg/cm ²
13	Holding Pressure_2	N	600	700	Kg/cm ²
14	Holding Pressure_3	O	200	300	Kg/cm ²

5.1.1 ภาพแบบการทดลองของทากูชิ “Taguchi L16 Orthogonal Array”

การออกแบบการทดลองในขั้นตอนของการทดลองเบื้องต้นได้นำวิธีการออกแบบการทดลองตามแนววิธีของ “ ทากูชิ ” โดยเลือกใช้ภาพแบบ L16 Orthogonal Array สำหรับการทดลองที่มีปัจจัย 14 ปัจจัยและมีระดับการทดลอง 2 ระดับสำหรับแต่ละปัจจัยและภาพแบบ L16 Orthogonal Array ในการทดลองเบื้องต้นนั้นไม่มีการกำหนด Interaction ของปัจจัยแต่ละปัจจัย ดังแสดงในตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 ภาพแบบการทดลองของ Taguchi L16 Orthogonal Arrays

Run	Factor													
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	O
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2
3	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2
4	1	1	1	2	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1
5	1	2	2	1	2	2	2	1	1	2	2	1	1	2
6	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1
7	1	2	2	2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	1
8	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2
9	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1
10	2	1	2	1	1	1	2	2	1	2	1	2	1	2
11	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2
12	2	1	2	2	2	2	1	2	1	2	1	1	2	1
13	2	2	1	1	1	2	1	1	2	2	1	1	2	2
14	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1
15	2	2	1	2	2	1	2	1	2	2	1	2	1	1
16	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2

5.1.2 ผลการทดลองเบื้องต้นจากภาพแบบการทดลอง Taguchi L16

5.1.2.1 ในการทดลองเบื้องต้นนี้โดยใช้ภาพแบบการทดลองแบบ L16 ตามแบบแผนของ Taguchi ซึ่งแสดงในตารางที่ 5.2 โดยมีการทดลองทั้งหมด 16 การทดลองภายใต้ 14 ปัจจัยและแต่ละปัจจัยจะมีทั้งหมด 2 ระดับด้วยกันและในแต่ละระดับของการทดลอง 16 การทดลองจะมีการทดลองซ้ำ 12 ครั้ง เพื่อทำการศึกษาและเปรียบเทียบความแปรปรวนของการฉีดพลาสติกในแต่ละครั้งภายใต้การทดลองในเงื่อนไขเดียวกัน

5.1.2.2 การตรวจสอบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง Hub-C2 กระทำโดยการใช้เครื่องมือวัดที่ไม่สัมผัสกับชิ้นงานโดยตรง (Non Contact Video Measurement Machine) ซึ่งมีความละเอียดสูงสุดถึง 0.05 ไมโครเมตรและวิธีการในการตรวจวัดนี้จะใช้โปรแกรมที่สร้างขึ้นมาสำหรับการตรวจสอบ Hub-C2 โดยเฉพาะซึ่งได้ผ่านการวิเคราะห์ระบบการวัดโดยวิธี Gage R&R ซึ่งผลแสดงในภาคผนวก ก ว่าระบบการวัดสามารถเชื่อถือได้และไม่ส่งผลกระทบต่อความแปรปรวนของผลิตภัณฑ์และในการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Hub-C2 นั้น สามารถทำได้ถึง 32 ชิ้นด้วยกันต่อการวัด 1 ครั้ง โดยการใช้โปรแกรมอัตโนมัติ

5.1.2.3 ผลการทดลองในการทดลองเบื้องต้นนี้ข้อมูลจะถูกจำแนกและนำมาสรุปเพื่อทำการวิเคราะห์ผลโดยใช้หลักการจำแนกข้อมูลแบบกลุ่ม คาวิตี (cavity) โดยแบ่งข้อมูลตาม Sub-Runner หรือมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า “ คลัสเตอร์ (cluster) Layout ” โดยวิธีการและภาพแบบของการจำแนกข้อมูลแบบ คลัสเตอร์ (cluster) Layout จะแสดงรายละเอียดอยู่ในบทที่ 4 หัวข้อที่ 4.2.1 ซึ่งมีรายละเอียดโดยสังเขป ดังนี้

- คลัสเตอร์ (cluster) ที่ 1 ประกอบไปด้วย คาวิตี (cavity) A, B, C และ D
- คลัสเตอร์ (cluster) ที่ 2 ประกอบไปด้วย คาวิตี (cavity) E, F, G และ H
- คลัสเตอร์ (cluster) ที่ 3 ประกอบไปด้วย คาวิตี (cavity) I, J, K และ L
- คลัสเตอร์ (cluster) ที่ 4 ประกอบไปด้วย คาวิตี (cavity) M, N, O และ P

ตารางที่ 5.3 ผลการทดลองขั้นต้นของ คลัสเตอร์ (cluster) ที่ 1 ประกอบด้วย คาวิตี (cavity) A, B, C และ D

Factor		Cluster-1																																				
		Cavity-A						Cavity-B						Cavity-C						Cavity-D																		
Run	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	O	Cav-A1	Cav-A2	Cav-A3	Cav-A4	Avg.	Stdv.	Cav-B1	Cav-B2	Cav-B3	Cav-B4	Avg.	Stdv.	Cav-C1	Cav-C2	Cav-C3	Cav-C4	Avg.	Stdv.	Cav-D1	Cav-D2	Cav-D3	Cav-D4	Avg.	Stdv.
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	24	23	21	24	23	1.4	21	24	21	23	22	1.5	33	32	33	33	33	0.5	26	28	25	25	26	1.4
2	1	1	1	1	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	22	19	18	21	20	1.8	25	26	24	24	25	1.0	36	36	38	35	36	1.3	29	31	28	29	29	1.3
3	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	18	16	14	18	17	1.9	19	18	20	22	20	1.7	28	26	27	27	27	0.8	21	24	26	23	24	2.1
4	1	1	1	2	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1	24	25	26	24	25	1.0	26	28	24	24	26	1.9	31	34	33	34	33	1.4	34	33	34	36	34	1.3
5	1	2	2	1	2	2	2	1	1	2	2	1	1	2	28	25	24	26	26	1.7	29	31	33	31	31	1.6	36	38	38	37	37	1.0	33	35	32	33	33	1.3
6	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	32	33	35	32	33	1.4	34	35	33	33	34	1.0	41	43	43	42	42	1.0	36	36	33	37	36	1.7
7	1	2	2	2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	1	30	27	29	27	28	1.5	27	27	29	31	29	1.9	45	45	43	45	45	1.0	45	45	43	43	44	1.2
8	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	29	31	31	28	30	1.5	35	36	32	34	34	1.7	42	43	43	44	43	0.8	46	46	44	47	46	1.3
9	2	1	2	1	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	33	34	34	37	35	1.7	37	39	41	38	39	1.7	54	57	54	56	55	1.5	51	53	51	50	51	1.3
10	2	1	2	1	1	1	2	2	1	2	1	2	1	2	45	46	48	44	46	1.7	49	51	54	52	52	2.1	58	61	61	59	60	1.5	54	52	53	51	53	1.3
11	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	47	44	43	41	44	2.5	52	55	54	57	55	2.1	62	62	61	64	62	1.3	54	56	55	54	55	1.0
12	2	1	2	2	2	2	1	2	1	2	1	1	2	1	51	51	50	53	51	1.3	56	58	55	54	56	1.7	67	67	66	67	67	0.5	57	59	57	57	58	1.0
13	2	2	1	1	1	2	1	1	2	2	1	1	2	2	68	67	64	64	66	2.1	68	66	62	65	65	2.5	68	69	68	68	68	0.5	61	60	61	61	61	0.5
14	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	64	64	67	65	65	1.4	65	65	67	64	65	1.3	65	67	64	64	65	1.4	67	65	67	68	67	1.3
15	2	2	1	2	2	1	2	1	2	2	1	2	1	1	59	58	56	55	57	1.8	57	61	60	58	59	1.8	72	69	71	72	71	1.4	65	63	62	62	63	1.4
16	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2	67	63	65	64	65	1.7	66	68	69	71	69	2.1	74	72	72	75	73	1.5	66	67	65	67	66	1.0

ตารางที่ 5.4 ผลการทดลองขั้นต้นของ คลัสเตอร์ (cluster) ที่ 2 ประกอบด้วย คาวิตี (cavity) E, F, G และ H

		Cluster-2																																				
		Factor and interaction.																																				
Run	Factor and interaction.															Cavity -E					Cavity -F					Cavity -G					Cavity -H							
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	O	Cav-E1	Cav-E2	Cav-E3	Cav-E4	Avg.	Stdv.	Cav-F1	Cav-F2	Cav-F3	Cav-F4	Avg.	Stdv.	Cav-G1	Cav-G2	Cav-G3	Cav-G4	Avg.	Stdv.	Cav-H1	Cav-H2	Cav-H3	Cav-H4	Avg.	Stdv.
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	21	18	24	22	21	2.5	29	31	32	31	31	1.3	28	26	26	27	27	1.0	20	17	21	19	19	1.7
2	1	1	1	1	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	25	26	21	26	25	2.4	34	32	33	33	33	0.8	32	29	33	31	31	1.7	23	21	25	21	23	1.9
3	1	1	1	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	18	22	21	24	21	2.5	26	27	28	26	27	1.0	24	23	25	27	25	1.7	21	24	19	22	22	2.1
4	1	1	1	2	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1	26	28	25	24	26	1.7	33	35	34	33	34	1.0	34	31	33	31	32	1.5	26	24	24	25	25	1.0
5	1	2	2	1	2	2	2	1	1	2	2	1	1	2	35	36	34	32	34	1.7	38	38	37	39	38	0.8	37	39	41	38	39	1.7	30	31	28	27	29	1.8
6	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	2	2	1	2	36	33	37	38	36	2.2	44	42	41	43	43	1.3	42	41	39	44	42	2.1	34	31	33	33	33	1.3
7	1	2	2	2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	1	38	41	41	43	41	2.1	45	44	47	45	45	1.3	42	39	45	43	42	2.5	31	33	35	34	33	1.7
8	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	44	42	45	47	45	2.1	44	45	44	43	44	0.8	47	45	45	44	45	1.3	35	37	35	34	35	1.3
9	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	55	56	55	57	56	1.0	57	55	54	56	56	1.3	48	51	52	51	51	1.7	36	34	38	39	37	2.2
10	2	1	2	1	1	1	2	2	1	2	1	2	1	2	58	56	62	57	58	2.6	58	57	57	58	58	0.6	53	55	51	51	53	1.9	42	41	43	45	43	1.7
11	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	1	2	1	58	54	56	54	56	1.9	61	62	62	59	61	1.4	58	61	63	61	61	2.1	45	41	43	42	43	1.7
12	2	1	2	2	2	2	1	2	1	2	1	1	2	1	61	63	61	60	61	1.3	61	63	64	62	63	1.3	65	67	67	68	67	1.3	46	48	48	44	47	1.9
13	2	2	1	1	1	2	1	1	2	2	1	1	2	2	64	63	65	63	64	1.0	69	71	69	69	70	1.0	67	67	69	68	68	1.0	54	55	58	53	55	2.2
14	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	68	67	68	65	67	1.4	66	68	67	69	68	1.3	71	74	74	72	73	1.5	61	63	64	63	63	1.3
15	2	2	1	2	2	1	2	1	2	2	1	2	1	1	69	68	68	71	69	1.4	70	69	69	68	69	0.8	68	69	67	66	68	1.3	56	58	59	57	58	1.3
16	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2	72	71	73	71	72	1.0	72	71	73	71	72	1.0	68	72	73	71	71	2.2	62	63	61	63	62	1.0

ตารางที่ 5.5 ผลการทดลองขั้นต้นของ คลัสเตอร์ (cluster) ที่ 3 ประกอบด้วย คาวิตี (cavity) I, J, K และ L

		Cluster-3																																				
		Factor and interaction.																																				
Run	Factor and interaction.															Cavity -I					Cavity -J					Cavity -K					Cavity -L							
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	O	Cav-I1	Cav-I2	Cav-I3	Cav-I4	Avg.	Stdv.	Cav-J1	Cav-J2	Cav-J3	Cav-J4	Avg.	Stdv.	Cav-K1	Cav-K2	Cav-K3	Cav-K4	Avg.	Stdv.	Cav-L1	Cav-L2	Cav-L3	Cav-L4	Avg.	Stdv.
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	26	24	23	22	24	1.7	19	21	21	23	21	1.6	31	34	33	32	33	1.3	24	26	25	27	26	1.3
2	1	1	1	1	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	19	21	22	21	21	1.3	24	21	23	25	23	1.7	34	36	36	35	35	1.0	27	25	24	27	26	1.5
3	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	29	31	31	30	30	1.0	26	23	26	25	25	1.4	25	26	27	28	27	1.3	29	28	31	27	29	1.7
4	1	1	1	2	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1	33	28	32	33	32	2.4	25	27	24	26	26	1.3	34	31	35	33	33	1.7	31	33	32	34	33	1.3
5	1	2	2	1	2	2	2	1	1	2	2	1	1	2	31	35	33	35	34	1.9	34	31	33	30	32	1.8	35	37	38	38	37	1.4	34	35	37	34	35	1.4
6	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	36	39	37	39	38	1.5	31	32	29	31	31	1.3	40	43	43	41	42	1.5	35	37	36	37	36	1.0
7	1	2	2	2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	1	41	43	42	41	42	1.0	36	33	35	32	34	1.8	45	44	45	44	45	0.6	41	38	39	38	39	1.4
8	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	44	43	46	45	45	1.3	41	39	39	40	40	1.0	40	43	41	43	42	1.5	44	41	43	42	43	1.3
9	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	48	46	47	45	47	1.3	43	46	44	45	45	1.3	51	56	54	55	54	2.2	46	49	47	47	47	1.3
10	2	1	2	1	1	1	2	2	1	2	1	2	1	2	49	51	48	51	50	1.5	46	44	41	43	44	2.1	58	56	57	59	58	1.3	51	49	49	48	49	1.3
11	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	48	51	52	50	50	1.7	44	46	43	46	45	1.5	61	61	62	60	61	0.8	56	54	54	55	55	1.0
12	2	1	2	2	2	2	1	2	1	2	1	1	2	1	53	56	54	52	54	1.7	47	43	48	47	46	2.2	64	63	67	65	65	1.7	53	57	55	55	55	1.6
13	2	2	1	1	1	2	1	1	2	2	1	1	2	2	57	54	58	57	57	1.7	50	48	53	51	51	2.1	67	65	67	68	67	1.3	55	54	56	55	55	0.8
14	2	2	1	1	2	2	1	2	1	2	1	1	2	1	61	58	58	59	59	1.4	54	52	55	56	54	1.7	65	68	65	65	66	1.5	62	61	64	62	62	1.3
15	2	2	1	2	2	1	2	1	2	2	1	2	1	1	63	66	61	64	64	2.1	58	58	60	62	60	1.9	69	71	73	71	71	1.6	66	64	65	63	65	1.3
16	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2	68	64	66	66	66	1.6	63	67	65	64	65	1.7	71	74	71	69	71	2.1	67	69	68	68	68	0.8

ตารางที่ 5.6 ผลการทดลองขั้นต้นของ คลัสเตอร์ (cluster) ที่ 4 ประกอบด้วย คาวิตี (cavity) M, N, O และ P

															Cluster-4																							
Factor and interaction.															Cavity -M				Cavity -N				Cavity -O				Cavity -P											
Run	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	O	Cav-M1	Cav-M2	Cav-M3	Cav-M4	Avg.	Stdv.	Cav-N1	Cav-N2	Cav-N3	Cav-N4	Avg.	Stdv.	Cav-O1	Cav-O2	Cav-O3	Cav-O4	Avg.	Stdv.	Cav-P1	Cav-P2	Cav-P3	Cav-P4	Avg.	Stdv.
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	23	25	24	23	24	1.0	24	24	25	23	24	0.8	26	25	26	24	25	1.0	23	23	21	22	22	1.0
2	1	1	1	1	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	23	25	25	23	24	1.2	25	27	25	27	26	1.2	27	29	31	28	29	1.7	25	28	27	25	26	1.5
3	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	20	21	20	22	21	1.0	31	33	32	31	32	1.0	25	28	24	27	26	1.8	22	19	23	21	21	1.7
4	1	1	1	2	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1	24	23	23	25	24	1.0	33	34	35	33	34	1.0	33	33	30	32	32	1.4	27	29	27	30	28	1.5
5	1	2	2	1	2	2	2	1	1	2	2	1	1	2	31	33	33	32	32	1.0	36	37	34	35	36	1.3	29	31	33	31	31	1.6	31	33	29	31	31	1.6
6	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	34	35	34	33	34	0.8	41	40	40	39	40	0.8	31	29	27	28	29	1.7	30	30	29	27	29	1.4
7	1	2	2	2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	1	37	39	37	38	38	1.0	38	39	37	38	38	0.8	35	33	34	33	34	1.0	32	32	30	31	31	1.0
8	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	43	41	42	42	42	0.8	43	41	42	44	43	1.3	39	36	37	39	38	1.5	36	33	36	35	35	1.4
9	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	45	47	45	46	46	1.0	45	47	46	47	46	1.0	44	41	43	45	43	1.7	39	41	38	37	39	1.7
10	2	1	2	1	1	1	2	2	1	2	1	2	1	2	49	51	53	53	52	1.9	49	51	51	50	50	1.0	43	45	45	46	45	1.3	42	44	41	43	43	1.3
11	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	55	56	53	54	55	1.3	53	53	52	53	53	0.5	47	46	47	45	46	1.0	42	41	43	43	42	1.0
12	2	1	2	2	2	2	1	2	1	2	1	1	2	1	53	55	53	54	54	1.0	55	57	55	54	55	1.3	48	51	50	50	50	1.3	45	47	44	46	46	1.3
13	2	2	1	1	1	2	1	1	2	2	1	1	2	2	58	59	59	57	58	1.0	56	58	58	57	57	1.0	53	52	54	54	53	1.0	48	49	47	47	48	1.0
14	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	62	64	64	63	63	1.0	61	60	59	61	60	1.0	55	54	55	54	55	0.6	52	51	53	52	52	0.8
15	2	2	1	2	2	1	2	1	2	2	1	2	1	1	66	64	67	68	66	1.7	64	67	65	66	66	1.3	58	55	56	56	56	1.3	55	57	54	56	56	1.3
16	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2	69	71	70	68	70	1.3	69	65	66	65	66	1.9	61	57	57	58	58	1.9	61	61	58	59	60	1.5

หมายเหตุ ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 5.3 ~ 5.6 จะเป็นข้อมูลของเส้นผ่านศูนย์กลางที่แสดงค่าในภาพของหน่วยวัดเป็นไมโครเมตร 2 หลักสุดท้ายที่วัดได้ เพื่อความสะดวกและรวดเร็วในการนำไปคำนวณค่าต่างๆ

มาตรฐานขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง Hub-C2 คือ 6.65 ± 0.03 มิลลิเมตร ซึ่งมีค่าเท่ากับ 6650 ± 30 ไมโครเมตร (6620 ~ 6680) ซึ่งในการทดลองจะใช้ค่า 2 หลักสุดท้ายมาแสดงในตารางผลการทดลองตัวอย่างเช่น

- ค่าที่วัดได้จากชิ้นงานจริง = 6.635 มิลลิเมตร
- ค่าที่แสดงผลในตารางการทดลอง = 35 ไมโครเมตร

5.1.3 สรุปผลการทดลองขั้นต้น

จากผลการทดลองขั้นต้นหลังจากได้ทำการวิเคราะห์เพื่อค้นหาปัจจัยที่ส่งผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Hub-C2 โดยอาศัยเทคนิคการออกแบบการทดลองแบบทากูชิและการวิเคราะห์ข้อมูลโดยอาศัยการวิเคราะห์และพิจารณาค่า Signal-to-noise ratio (S/N) ประกอบกับการ

วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนควบคู่ไปด้วย โดยกำหนดค่าความผิดพลาดแบบที่ 1 ($\alpha = 0.05$) ซึ่งผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

5.1.3.1 จากผลการทดลองสำหรับ คลัสเตอร์ (cluster) ที่ 1 ซึ่งประกอบไปด้วย คาวิตี (cavity) A, B, C และ D ซึ่งมีผลดังนี้

ตารางที่ 5.7 ค่า p-value ของการวิเคราะห์ความแปรปรวน การทดลองขั้นต้นของ คลัสเตอร์ (cluster) ที่ 1

ปัจจัย (Factor)	คาวิตี (cavity) A		คาวิตี (cavity) B		คาวิตี (cavity) C		คาวิตี (cavity) D	
	p-value (S/N)	p-value (Mean)						
A พลาสติก (Material)	0.027	0.02	0.28	0.06	0.22	0.07	0.06	0.04
B ระบบหล่อเย็น (Cooling System)	0.049	0.05	0.44	0.14	0.42	0.22	0.14	0.1
C อุณหภูมิของกระบอกลูกสูบช่วงที่ 1 (Barrel Temp_1)	0.366	0.12	0.96	0.48	0.71	0.89	0.62	0.78
D อุณหภูมิของกระบอกลูกสูบช่วงที่ 2 (Barrel Temp_2)	0.334	0.76	0.57	0.64	0.99	0.53	0.55	0.24
E อุณหภูมิของกระบอกลูกสูบช่วงที่ 3 (Barrel Temp_3)	0.113	0.18	0.72	0.49	0.7	0.68	0.24	0.82
F อุณหภูมิของกระบอกลูกสูบช่วงที่ 4 (Barrel Temp_4)	0.192	0.22	0.82	0.46	0.48	0.69	0.85	0.54
G อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็น (Cooling Temp)	0.349	0.21	0.76	0.47	0.19	0.58	0.15	0.31

ตารางที่ 5.7 ค่า p-value ของการวิเคราะห์ความแปรปรวน การทดลองขั้นต้นของคลัสเตอร์ (cluster) ที่ 1 (ต่อ)

ปัจจัย (Factor)	คาวิตี (cavity) A		คาวิตี (cavity) B		คาวิตี (cavity) C		คาวิตี (cavity) D	
	p-value (S/N)	p-value (Mean)						
H เวลาที่ใช้ในการหล่อเย็น (Cooling Time)	0.046	0.13	0.4	0.3	0.57	0.57	0.63	0.26
J เวลาที่ใช้ในการอัดย่ำ ช่วงที่ 1 (Holding Time_1)	0.247	0.39	0.81	0.8	0.6	0.88	0.32	0.78
K เวลาที่ใช้ในการอัดย่ำ ช่วงที่ 2 (Holding Time_2)	0.162	0.5	0.8	0.87	0.64	0.65	0.22	0.78
L เวลาที่ใช้ในการอัดย่ำ ช่วงที่ 3 (Holding Time_3)	0.328	0.32	0.94	0.86	0.19	0.9	0.37	0.46
M แรงดันอัดย่ำช่วงที่ 1 (Holding Pressure_1)	0.088	0.43	0.63	0.87	0.28	0.96	0.19	0.74
N แรงดันอัดย่ำช่วงที่ 2 (Holding Pressure_2)	0.176	0.94	0.93	0.76	0.42	0.78	0.64	0.65
O แรงดันอัดย่ำช่วงที่ 3 (Holding Pressure_3)	0.051	0.67	0.77	0.5	0.85	0.92	0.43	0.53

- ชนิดของพลาสติก (ปัจจัย A) มีผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Hub-C2 ทั้ง 4 Cavities โดย p-Value ของคาวิตี (cavity) A และ D มีค่าน้อยกว่า 0.05 และค่า p-Value ของคาวิตี (cavity) B และ C มีค่าอยู่ในระดับที่น้อยกว่า 0.1 ดังแสดงในภาคผนวก ข. ตารางที่ ข-1 ถึง ข-8 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปัจจัย A (ชนิดของ Plastic) มีผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของคาวิตี (cavity) A, B, C และ D อย่างมีนัยสำคัญ

- ระบบการหล่อเย็น (ปัจจัย B) สำหรับ คลัสเตอร์ (cluster) ที่ 1 นั้น จากพิจารณาการวิเคราะห์ความแปรปรวน ค่า p-Value ของคาวิตี (cavity) A มีค่าน้อยกว่า 0.05 และค่า p-Value สำหรับคาวิตี (cavity) D มีค่าอยู่ในระดับที่น้อยกว่า 0.1 ดังแสดงในภาคผนวก ข. ตารางที่ ข-1 ถึง ข-8 ดังนั้นระบบการหล่อเย็นเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ คลัสเตอร์ (cluster) ที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญ
- หากพิจารณาผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางค่า S/N สำหรับ คลัสเตอร์ (cluster) ที่ 1 ยังพบว่าปัจจัยเวลาในการหล่อเย็น (ปัจจัย H) และปัจจัยแรงดันอัดยี้ (ปัจจัย O) ส่งผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอย่างมีนัยสำคัญโดยค่า p-Value มีค่าน้อยกว่า 0.05 ดังแสดงในภาคผนวก ข. ตารางที่ ข-1 ถึง ข-8

ดังนั้นหากกล่าวโดยสรุปแล้วปัจจัยที่ส่งผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง Hub-C2 และ คลัสเตอร์ (cluster) ที่ 1 โดยประกอบด้วยคาวิตี (cavity) A, B, C และ D คือปัจจัย A (ชนิดของพลาสติก) ปัจจัย B (ระบบการหล่อเย็น) ปัจจัย H (เวลาในการหล่อเย็น) และปัจจัย O (ความดันอัดยี้)

5.1.3.2 จากผลการทดลองสำหรับคลัสเตอร์ (cluster) ที่ 2 ซึ่งประกอบไปด้วย คาวิตี (cavity) E, F, G และ H พบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอย่างมีนัยสำคัญสามารถสรุปได้ดังนี้

ตารางที่ 5.8 ค่า p-value ของการวิเคราะห์ความแปรปรวน การทดลองขั้นต้นของคลัสเตอร์ (cluster) ที่ 2

ปัจจัย (Factor)	คาวิตี (cavity) E		คาวิตี (cavity) F		คาวิตี (cavity)G		คาวิตี (cavity) H	
	p-value (S/N)	p-value (Mean)	p-value (S/N)	p-value (Mean)	p-value (S/N)	p-value (Mean)	p-value (S/N)	p-value (Mean)
A พลาสติก (Material)	0.03	0.01	0.06	0.03	0.02	0.05	0.03	0
B ระบบหล่อเย็น (Cooling System)	0.06	0.02	0.12	0.06	0.05	0.1	0.03	0
C อุณหภูมิของกระบอกลูบช่วงที่ 1 (Barrel Temp_1)	0.32	0.1	0.74	0.71	0.11	0.84	0.17	0.01
D อุณหภูมิของกระบอกลูบช่วงที่ 2 (Barrel Temp_2)	0.27	0.08	0.89	0.27	0.43	0.33	0.07	0.01

ตารางที่ 5.8 ค่า p-value ของการวิเคราะห์ความแปรปรวน การทดลองซ้ำของคลัสเตอร์ (cluster) ที่ 2 (ต่อ)

ปัจจัย (Factor)	คาวิตี (cavity) E		คาวิตี (cavity) F		คาวิตี (cavity)G		คาวิตี (cavity) H	
	p-value (S/N)	p-value (Mean)	p-value (S/N)	p-value (Mean)	p-value (S/N)	p-value (Mean)	p-value (S/N)	p-value (Mean)
E คุณหมุมิของกระบอก สูบช่วงที่ 3 (Barrel Temp_3)	0.36	0.42	0.79	0.32	0.14	0.89	0.12	0.3
F คุณหมุมิของกระบอก สูบช่วงที่ 4 (Barrel Temp_4)	0.85	0.11	0.16	0.66	0.19	0.46	0.95	0.06
G คุณหมุมิของน้ำหล่อ เย็น (Cooling Temp)	0.68	0.31	0.23	0.28	0.05	0.28	0.16	0.03
H เวลาที่ใช้ในการหล่อ เย็น (Cooling Time)	0.58	0.08	0.18	0.31	0.36	0.28	0.05	0.01
J เวลาที่ใช้ในการอัดย้า ช่วงที่ 1 (Holding Time_1)	0.23	0.82	0.65	0.52	0.12	0.95	0.34	0.03
K เวลาที่ใช้ในการอัดย้า ช่วงที่ 2 (Holding Time_2)	0.54	0.42	0.12	0.5	0.16	0.78	0.24	0.16
L เวลาที่ใช้ในการอัดย้า ช่วงที่ 3 (Holding Time_3)	0.17	1	0.33	0.77	0.06	0.75	0.18	0.09
M แรงดันอัดย้าช่วงที่ 1 (Holding Pressure_1)	0.08	0.34	0.87	0.77	0.05	0.78	0.97	0.05
N แรงดันอัดย้าช่วงที่ 2 (Holding Pressure_2)	0.15	0.91	0.23	0.66	0.1	0.97	0.1	0.09
O แรงดันอัดย้าช่วงที่ 3 (Holding Pressure_3)	0.27	0.55	0.13	0.66	0.17	0.7	0.17	0.13

- ปัจจัย A หรือชนิดของพลาสติกมีผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Hub-C2 ใน คลัสเตอร์ (cluster) ที่ 2 ทั้ง 4 คาวิตี (cavity) โดยผลการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนปรากฏว่า p-Value ของทั้ง 4 คาวิตี (cavity) มีค่าน้อยกว่า 0.05 ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าปัจจัย A (ชนิดของพลาสติก) มีอิทธิพลส่งผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Hub-C2 สำหรับคลัสเตอร์ (cluster) ที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญโดยผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนดังแสดงในภาคผนวก ข. ตารางที่ ข-9 ถึง ข-16
- ปัจจัย B หรือระบบการหล่อเย็นเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Hub-C2 ในคลัสเตอร์ (cluster) ที่ 2 ทุกๆคาวิตี (cavity) โดยพิจารณาจากการวิเคราะห์ความแปรปรวน p-Value ของคาวิตี (cavity) E, F และ H มีค่าต่ำกว่า 0.05 ส่วน p-Value ของคาวิตี (cavity) G มีค่า 0.1 ซึ่งก็อยู่ในระดับที่มีนัยสำคัญ ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของคลัสเตอร์ (cluster) ที่ 2 ดังแสดงในภาคผนวก ข. ตารางที่ ข-9 ถึง ข-16
- ในกรณีของคาวิตี (cavity) H ซึ่งมีความแตกต่างจาก คาวิตี (cavity) อื่นๆ ของ คลัสเตอร์ (cluster) ที่ 2 โดยพิจารณาจากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนปรากฏว่ามีปัจจัยหลายปัจจัยด้วยกันที่มีค่า p-Value อยู่ในระดับที่ต่ำกว่า 0.05 ซึ่งได้แก่ ปัจจัย C, D และ F (กลุ่มปัจจัยอุณหภูมิของกระบอกฉีด) ปัจจัย G และ H คืออุณหภูมิและเวลาของการหล่อเย็น และยังมีปัจจัย J ซึ่งเป็นเวลาที่ใช้ในการอัดย่ำ รวมถึงปัจจัย M ความดันอัดย่ำที่มีค่า p-Value อยู่ในระดับที่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญ
- พิจารณาการนำค่า S/N ของคลัสเตอร์ (cluster) ที่ 2 ไปทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยที่กำหนดค่า α อยู่ในระดับ 0.05 ปรากฏว่าผลที่ได้ก็มีลักษณะใกล้เคียงกับการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางแต่มีบางคาวิตี (cavity) ที่มีความแตกต่างคือ คาวิตี (cavity) G จะมีปัจจัย M (ความดันอัดย่ำ) ที่มีค่า p-Value อยู่ในระดับ 0.05

ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Hub-C2 ใน คลัสเตอร์ (cluster) ที่ 2 ซึ่งประกอบด้วยคาวิตี (cavity) E, F, G และ H คือปัจจัย A (ชนิดของพลาสติก) และปัจจัย B (ระบบการหล่อเย็น) และปัจจัย M (ความดันอัดย่ำ) ที่มีผลต่อคาวิตี (cavity) G ส่วนในกรณีของ คาวิตี (cavity) H ที่มีปัจจัยหลายปัจจัยด้วยกันที่ส่งผลดังแสดงรายละเอียดในข้างต้น ปัจจัยที่ส่งผลเหล่านี้จะถูกนำไปพิจารณาในการทดลองขั้นต่อไปโดยจะพิจารณาร่วมกับผลของคลัสเตอร์ (cluster) อื่นๆ ด้วย

5.1.3.3 ผลการทดลองเบื้องต้นสำหรับคลัสเตอร์ (cluster) ที่ 3 ซึ่งประกอบไปด้วยคาวิตี (cavity) I, J, K และ L พบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของคลัสเตอร์ (cluster) ที่ 3 สามารถสรุปได้ดังนี้

ตารางที่ 5.9 ค่า p-value ของการวิเคราะห์ความแปรปรวน การทดลองขั้นต้นของ คลัสเตอร์ (cluster) ที่ 3

ปัจจัย (Factor)	คาวิตี (cavity) I		คาวิตี (cavity) J		คาวิตี (cavity) K		คาวิตี (cavity) L	
	p-value (S/N)	p-value (Mean)						
A พลาสติก (Material)	0.37	0.04	0.21	0.02	0.06	0.07	0.03	0.03
B ระบบหล่อเย็น (Cooling System)	0.48	0.07	0.25	0.04	0.11	0.2	0.06	0.06
C อุณหภูมิของกระบอกลูกสูบช่วงที่ 1 (Barrel Temp_1)	0.61	0.65	0.51	0.36	0.12	1	0.64	0.76
D อุณหภูมิของกระบอกลูกสูบช่วงที่ 2 (Barrel Temp_2)	0.62	0.12	0.36	0.08	0.22	0.51	0.26	0.11
E อุณหภูมิของกระบอกลูกสูบช่วงที่ 3 (Barrel Temp_3)	0.84	0.69	0.64	0.31	0.09	0.7	0.09	0.94
F อุณหภูมิของกระบอกลูกสูบช่วงที่ 4 (Barrel Temp_4)	0.78	0.77	0.72	0.15	0.28	0.73	0.5	0.83
G อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็น (Cooling Temp)	0.87	0.57	0.63	0.27	0.05	0.56	0.62	0.87
H เวลาที่ใช้ในการหล่อเย็น (Cooling Time)	0.98	0.35	0.53	0.19	0.14	0.6	0.31	0.23
J เวลาที่ใช้ในการอัดย้าช่วงที่ 1 (Holding Time_1)	0.71	0.65	0.34	0.74	0.75	0.87	0.16	0.7

ตารางที่ 5.9 ค่า p-value ของการวิเคราะห์ความแปรปรวน การทดลองขั้นต้นของ คลัสเตอร์ (cluster) ที่ 3 (ต่อ)

ปัจจัย (Factor)	คาวิตี (cavity) I		คาวิตี (cavity) J		คาวิตี (cavity) K		คาวิตี (cavity) L	
	p-value (S/N)	p-value (Mean)						
K เวลาที่ใช้ในการอัดย้า ช่วงที่ 2 (Holding Time_2)	0.64	0.63	0.26	0.3	0.1	0.64	0.18	0.46
L เวลาที่ใช้ในการอัดย้า ช่วงที่ 3 (Holding Time_3)	0.92	0.5	0.78	0.42	0.17	0.99	0.45	0.52
M แรงดันอัดย้าช่วงที่ 1 (Holding Pressure_1)	0.63	0.82	0.66	0.33	0.06	0.95	0.32	0.98
N แรงดันอัดย้าช่วงที่ 2 (Holding Pressure_2)	0.56	0.85	0.73	0.85	0.55	0.87	0.9	0.4
O แรงดันอัดย้าช่วงที่ 3 (Holding Pressure_3)	0.91	0.67	0.87	0.38	0.27	0.74	0.3	0.76

- จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนและการพิจารณาค่า S/N พบว่าปัจจัย A ชนิดของพลาสติกส่งผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทั้ง 4 คาวิตี (cavity) โดยค่า p-Value ของคาวิตี (cavity) I, J และ L มีระดับที่ต่ำกว่า 0.05 และคาวิตี (cavity) K ค่า p-Value เท่ากับ 0.07 ซึ่งอยู่ในระดับที่ส่งผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอย่างมีนัยสำคัญ ดังแสดงในภาคผนวก ข. ตารางที่ ข-17 ถึง ข-24
- ระบบการหล่อเย็นหรือปัจจัย B เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยพิจารณาจากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนปรากฏว่าค่า P-Value ของคาวิตี (cavity) J มีค่าที่ต่ำกว่า 0.05 ส่วนคาวิตี (cavity) I และ L มีค่าที่อยู่ในระดับที่ต่ำกว่า 0.1 ซึ่งอยู่ในระดับเพียงพอที่ส่งผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในภาคผนวก ข. ตารางที่ ข-17 ถึง ข-24

- ผลจากการนำค่า S/N ของการทดลองเบื้องต้นไปทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยที่ กำหนดค่า α อยู่ในระดับ 0.05 โดยผลที่ปรากฏมีลักษณะเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางแต่ในกรณีของคลัสเตอร์ (cluster) ที่ 3 ปรากฏว่าคาวิตี (cavity) K มีปัจจัย 2 ปัจจัยนอกเหนือจากปัจจัย A และปัจจัย B กล่าวคือปัจจัย G (อุณหภูมิการหล่อเย็น) และปัจจัย M (ความดันอัดย้า) ส่งผลต่อขนาด เส้นผ่านศูนย์กลางของคาวิตี (cavity) K อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งค่า p-Value อยู่ในระดับ 0.05 ดังแสดงในภาคผนวก ข. ตารางที่ ข-17 ถึง ข-24

โดยสรุปแล้วปัจจัยที่ส่งผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของคลัสเตอร์ (cluster) ที่ 3 คือ ปัจจัย A (ชนิดของพลาสติก) ปัจจัย B (ระบบการหล่อเย็น) ส่วนปัจจัย G (อุณหภูมิในการหล่อเย็น) และ ปัจจัย M (ความดันอัดย้า) ส่งผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของคาวิตี (cavity) K อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งปัจจัยดังกล่าวนี้จะถูกนำไปขยายผลในการทดลองในขั้นตอนการหาสภาวะที่เหมาะสมต่อไป

5.1.3.4 ผลการทดลองขั้นต้นสำหรับ คลัสเตอร์ (cluster) ที่ 4 ซึ่งประกอบไปด้วย คาวิตี (cavity) M, N, O และ P ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมีดังนี้

ตารางที่ 5.10 ค่า p-value ของการวิเคราะห์ความแปรปรวน การทดลองขั้นต้นของคลัสเตอร์ (cluster) ที่ 4

ปัจจัย (Factor)	คาวิตี (cavity) M		คาวิตี (cavity) N		คาวิตี (cavity) O		คาวิตี (cavity) P	
	p-value (S/N)	p-value (Mean)						
A พลาสติก (Material)	0.08	0.04	0.14	0.02	0.14	0	0.01	0.06
B ระบบหล่อเย็น (Cooling System)	0.09	0.09	0.71	0.04	0.35	0.01	0.02	0.13
C อุณหภูมิของกระบอกลูกสูบช่วงที่ 1 (Barrel Temp_1)	0.21	0.92	0.32	0.57	0.66	0.03	0.11	0.44
D อุณหภูมิของกระบอกลูกสูบช่วงที่ 2 (Barrel Temp_2)	0.57	0.26	0.63	0.07	0.94	0.02	0.13	0.3

ตารางที่ 5.10 ค่า p-value ของการวิเคราะห์ความแปรปรวน การทดลองขั้นต้นของคลัสเตอร์ (cluster) ที่ 4 (ต่อ)

ปัจจัย (Factor)	คาวิตี (cavity) M		คาวิตี (cavity) N		คาวิตี (cavity) O		คาวิตี (cavity) P	
	p-value (S/N)	p-value (Mean)						
E คุณหมุมิของกระบอกสูบช่วงที่ 3 (Barrel Temp_3)	0.58	0.8	0.28	0.91	0.66	0.13	0.03	0.9
F คุณหมุมิของกระบอกสูบช่วงที่ 4 (Barrel Temp_4)	0.29	0.41	0.28	0.38	0.67	0.1	0.47	0.51
G คุณหมุมิของน้ำหล่อเย็น (Cooling Temp)	0.18	0.53	0.48	0.24	0.23	0.07	0.02	0.84
H เวลาที่ใช้ในการหล่อเย็น (Cooling Time)	0.44	0.37	0.42	0.14	0.93	0.03	0.16	0.31
J เวลาที่ใช้ในการอัดย้าช่วงที่ 1 (Holding Time_1)	0.61	0.83	0.41	0.69	0.67	0.21	0.1	0.88
K เวลาที่ใช้ในการอัดย้าช่วงที่ 2 (Holding Time_2)	0.23	0.76	0.48	0.74	0.78	0.07	0.13	0.69
L เวลาที่ใช้ในการอัดย้าช่วงที่ 3 (Holding Time_3)	0.76	0.98	0.97	0.38	0.77	0.11	0.11	0.6
M แรงดันอัดย้าช่วงที่ 1 (Holding Pressure_1)	0.19	0.87	0.26	0.61	0.67	0.06	0.07	0.68
N แรงดันอัดย้าช่วงที่ 2 (Holding Pressure_2)	0.35	0.53	0.52	0.61	0.35	0.11	0.03	0.64

ตารางที่ 5.10 ค่า p-value ของการวิเคราะห์ความแปรปรวน การทดลองขั้นต้นของคลัสเตอร์ (cluster) ที่ 4 (ต่อ)

ปัจจัย (Factor)	คาวิตี (cavity) M		คาวิตี (cavity) N		คาวิตี (cavity) O		คาวิตี (cavity) P	
	p-value (S/N)	p-value (Mean)	p-value (S/N)	p-value (Mean)	p-value (S/N)	p-value (Mean)	p-value (S/N)	p-value (Mean)
	O แรงดันอัดย៉างช่วงที่ 3 (Holding Pressure_3)	0.31	0.81	0.55	0.91	0.45	0.24	0.05

- ปัจจัย A (ชนิดของพลาสติก) เป็นปัจจัยที่มีผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ คลัสเตอร์ (cluster) ที่ 4 ในทุกคาวิตี (cavity) โดยที่ค่า p-Value จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนมีค่าต่ำกว่า 0.05 สำหรับคาวิตี (cavity) P ค่า p-value เท่ากับ 0.06 ซึ่งอยู่ในระดับที่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญ โดยผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนดังแสดงในภาคผนวก ข. ตารางที่ ข-25 ถึง ข-32
- ปัจจัย B (ระบบการหล่อเย็น) เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางซึ่งใน คลัสเตอร์ (cluster) ที่ 4 ปัจจัย B มีอิทธิพลต่อคาวิตี (cavity) N และ O โดยที่ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนให้ค่า p-Value ต่ำกว่า 0.05 ซึ่งผลดังแสดงในภาคผนวก ข. ตารางที่ ข-25 ถึง ข-32
- ปัจจัย C (อุณหภูมิของกระบอกลูกสูบ) และปัจจัย D เป็นอีกกลุ่มปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของคลัสเตอร์ (cluster) ที่ 4 ในบางคาวิตี (cavity) ซึ่งพบว่า ปัจจัย D ส่งผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของคาวิตี (cavity) N และ O โดยผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนให้ค่า p-Value ที่อยู่ในระดับที่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญซึ่งต่ำกว่า 0.1 และปัจจัย C ยังส่งผลต่อคาวิตี (cavity) O อีกด้วยโดยให้ค่า p-Value ที่ต่ำกว่า 0.05 ซึ่งผลดังแสดงในภาคผนวก ข. ตารางที่ ข-25 ถึง ข-32

ดังนั้นสำหรับคลัสเตอร์ (cluster) ที่ 4 สามารถสรุปได้ว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางคือ ปัจจัย A (ชนิดของพลาสติก) ปัจจัย B (ระบบการหล่อเย็น) ปัจจัย C และ D (อุณหภูมิกระบอกลูกสูบ) และปัจจัย M (ความดันอัดย៉าง) ซึ่งปัจจัยทั้งหมดนี้จะถูกนำไปพิจารณาขยายผลเพื่อทำการทดลองในขั้นตอนต่อไป

5.1.4 สรุปผลการทดลองเบื้องต้นโดยที่นำเอาปัจจัยทั้งหมดที่ส่งผลกระทบต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Hub-C2 ในทุกๆ คลัสเตอร์ (cluster) มาทำการเปรียบเทียบและประเมินลำดับความสำคัญโดยมีวัตถุประสงค์ที่จะนำเอาปัจจัยที่มีอิทธิพลไปทำการขยายผล เพื่อออกแบบการทดลองในขั้นตอนต่อไปโดยรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 5.11

ตารางที่ 5.11 สรุปผลการทดลองเบื้องต้น

ลำดับ	ปัจจัย	สัญลักษณ์	ผลการทดลองขั้นต้น	การขยายผลในการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม
1	พลาสติกชนิด POM (Material POM)	A	ส่งผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอย่างมีนัยสำคัญในทุกๆ Cluster	เลือกพลาสติก POM ชนิด B ในการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม เหตุผล : POM ชนิด B ให้ค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางที่ดีกว่า รวมทั้งมีอัตราการผลิตที่ต่ำกว่า
2	ระบบการหล่อเย็นแม่พิมพ์ (Cooling System)	B	ส่งผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอย่างมีนัยสำคัญในทุกๆ Cluster	เลือกระบบการหล่อเย็นแบบ Series ในขั้นตอนการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม เหตุผล : ระบบหล่อเย็นแบบ Series ให้ค่าเฉลี่ยที่ดีกว่าเมื่อใช้คู่กับ Material POM ชนิด B
3	อุณหภูมิของกระบอกลีดช่วงที่ 1 (Barrel Temp.-1)	C	ส่งผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอย่างมีนัยสำคัญเฉพาะ 2 Cavity เท่านั้น คือ H และ O	พิจารณานำไปใช้ขยายผลในการทดลอง เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม เหตุผล : ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนส่งผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง
4	อุณหภูมิของกระบอกลีดช่วงที่ 2 (Barrel Temp.-2)	D	ส่งผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอย่างมีนัยสำคัญ 2 Cavity คือ H และ O	พิจารณานำไปใช้ขยายผลในการทดลอง เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม เหตุผล : พิจารณาจากผลวิเคราะห์ความแปรปรวนให้ค่า p-Value อยู่ในระดับที่มีนัยสำคัญต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง
5	อุณหภูมิของกระบอกลีดช่วงที่ 3 (Barrel Temp.-3)	E	ไม่ส่งผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง	พิจารณานำไปบรรจุในกลุ่มของ Barrel Temperature Set ในการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม เหตุผล : ในขั้นตอนการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมนั้นปัจจัย

ตารางที่ 5.11 สรุปผลการทดลองเบื้องต้น (ต่อ)

ลำดับ	ปัจจัย	สัญลักษณ์	ผลการทดลองเบื้องต้น	การขยายผลในการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม
				ของ Barrel Temperature จะถูกรวมกันเป็น Set และกำหนดให้เป็นปัจจัยเดียว
6	อุณหภูมิของกระบอกฉีดช่วงที่ 4 (Barrel Temp.-4)	F	ส่งผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอย่างมีนัยสำคัญเฉพาะ Cavity H เท่านั้น	พิจารณานำไปขยายผลในการทดลอง เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม เหตุผล : พิจารณาจากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนส่งผล Cavity H และในขณะเดียวกันกลุ่มของ Barrel Temperature ทั้ง 4 ปัจจัยจะถูกรวมกันเป็น Set หรือกลุ่มปัจจัยภายใต้เงื่อนไขปัจจัยเดียว
7	อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็น (Cooling Temp.)	G	ส่งผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอย่างมีนัยสำคัญเฉพาะ Cavity H เท่านั้น	เลือกใช้อุณหภูมิที่ 60 °C ในการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม เหตุผล : พิจารณาจากค่า SIN ของทั้ง 4 Cavity คือ G, H, K และ P อุณหภูมิที่ 60 °C (ระดับที่ 1) ให้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ต่ำกว่า อุณหภูมิที่ 70 °C (ระดับที่ 2) และทั้ง 2 ระดับให้ค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางโดยรวมที่ไม่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงเลือกใช้อุณหภูมิที่ 60 °C ในการทดลองเพื่อค้นหาสภาวะที่เหมาะสม
8	เวลาที่ใช้ในการหล่อเย็น (Cooling Time)	H	ส่งผลต่อชนิดเส้นผ่านศูนย์กลางอย่างมีนัยสำคัญ โดยส่งผลต่อ 3 Cavity ด้วยกันคือ Cavity E, H และ O	พิจารณานำไปใช้ขยายผลในการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม เหตุผล : พิจารณาจากค่า SIN และผลวิเคราะห์ความแปรปรวน ปัจจัย H ส่งผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 5.11 สรุปผลการทดลองเบื้องต้น (ต่อ)

ลำดับ	ปัจจัย	สัญลักษณ์	ผลการทดลองเบื้องต้น	การขยายผลในการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม
9	เวลาที่ใช้ในการอัดย៉าก ช่วงที่ 1 (Holding Time-1)	J	ส่งผลกระทบต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอย่าง มีนัยสำคัญเฉพาะ Cavity H เท่านั้น	พิจารณานำไปใช้ขยายผลในการทดลอง เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม โดยที่กำหนดให้กลุ่มของปัจจัย Holding Time รวมกันเป็น 1 ปัจจัย เหตุผล : จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนปัจจัย J ส่งผลต่อ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอย่างมีนัยสำคัญถึงแม้จะส่งผลต่อ Cavity H อย่างเดียวก็ตาม
10	เวลาที่ใช้ในการอัดย៉าก ที่ 2 (Holding Time-2)	K	ไม่ส่งผลกระทบต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ของ Hub-C2 ใน Cavity ใดๆ	พิจารณานำไปบรรจุอยู่ในกลุ่มของ Holding Time ในขั้นตอนการ ทดลอง เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม โดยที่ปัจจัยทั้งหมดในกลุ่มของ Holding Time จะถูกรวมเข้ากันเป็นปัจจัยเดียว ซึ่งสามารถลด ขั้นตอนการทดลองลงได้ ซึ่งเป็นเทคนิคเฉพาะสำหรับการออกแบบ การทดลองของขบวนการฉีดพลาสติก
11	เวลาที่ใช้ในการอัดย៉าก ช่วงที่ 3 (Holding Time-3)	L	ส่งผลกระทบต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอย่าง มีนัยสำคัญเฉพาะ Cavity G เท่านั้น	พิจารณานำไปใช้ขยายผลในการทดลอง เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม โดยกำหนดให้อยู่ในกลุ่มของปัจจัย Holding Time ซึ่งรวมกันอยู่ เป็นปัจจัยเดียว เหตุผล : จากผลการทดลองขั้นต้นปัจจัย L ให้ค่า p-Value ที่อยู่ใน ระดับที่ส่งผลกระทบต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอย่างมีนัยสำคัญจึงจำเป็นต้อง ที่จะต้องนำไปขยายผลในการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม

ตารางที่ 5.11 สรุปผลการทดลองเบื้องต้น (ต่อ)

ลำดับ	ปัจจัย	สัญลักษณ์	ผลการทดลองเบื้องต้น	การขยายผลในการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม
12	ปัจจัย แรงอัดย៉างช่วงที่ 1 (Holding Pressure- 1)	M	ส่งผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอย่าง มีนัยสำคัญต่อ 4 Cavity คือ Cavity G, H, K และ O	พิจารณานำไปใช้ขยายผลในการทดลอง เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม ซึ่งจะรวมอยู่ในกลุ่มของปัจจัย Holding Pressure ซึ่งรวมกันเป็น ปัจจัยเดียวจาก 3 ปัจจัยของการทดลองขั้นต้น เหตุผล : ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนปัจจัย M ส่งผลต่อขนาด เส้นผ่านศูนย์กลางอย่างมีนัยสำคัญ
13	แรงอัดย៉างช่วงที่ 2 (Holding Pressure- 2)	N	ส่งผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง Hub- C2 เฉพาะ Cavity P เท่านั้น	พิจารณานำไปบรรจุอยู่ในกลุ่มของปัจจัย Holding Pressure ใน ขั้นตอนการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม ซึ่งจะนำเขาปัจจัยใน กลุ่มนี้มารวมกันเป็นปัจจัยเดียว เหตุผล : เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า SIN ซึ่งปัจจัย N ให้ค่า p-Value อยู่ในระดับที่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อ Cavity P
14	แรงอัดย៉างช่วงที่ 3 (Holding Pressure- 3)	O	ส่งผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอย่าง มีนัยสำคัญต่อ Cavity A และ P	นำไปขยายผลในการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม โดยบรรจุอยู่ ในกลุ่มของปัจจัย Holding Pressure เหตุผล : ผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า SIN ให้ค่า p- Value ที่อยู่ในระดับที่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อ Cavity A และ P

5.1.5 ปัจจัยและเงื่อนไขที่จะนำไปขยายผลในการทดลองเพื่อค้นหาสภาวะที่เหมาะสม สามารถสรุปได้ดังนี้

- วัสดุดิบ POM ชนิด B ถูกเลือกเพื่อนำไปใช้ในขั้นตอนการทดลอง เพื่อค้นหาสภาวะที่เหมาะสม เพราะให้ค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางดีกว่า POM ชนิด A
- ระบบหล่อเย็นแบบอนุกรม (Series Type) ถูกเลือกใช้ในการทดลองเพื่อค้นหาสภาวะที่เหมาะสม เพราะระบบหล่อเย็นแบบอนุกรมมีความเหมาะสมที่จะใช้คู่กับวัสดุดิบ POM ชนิด B มากกว่า ระบบหล่อเย็นแบบขนาน (Parallel Type) ซึ่งผลการทดลองขั้นต้นแสดงให้เห็นว่าระบบการหล่อเย็นแบบอนุกรมให้ค่าเฉลี่ยที่ดีกว่าแบบขนาน โดยเฉพาะแบบอนุกรมให้ค่าความแปรปรวนที่ต่ำกว่าในกรณีที่ตั้งค่าถูกเลือกใช้กับวัสดุดิบ POM ชนิด B
- อุณหภูมิของกระบอกฉีด (Barrel Temperature) จะเห็นได้ว่าการทดลองขั้นต้นนั้น อุณหภูมิของกระบอกฉีด (Barrel Temperature) ส่งผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางในบางมิติ (cavity) เท่านั้น รวมทั้งในการทดลองขั้นต้น อุณหภูมิของกระบอกฉีด (Barrel Temperature) ถูกกำหนดให้เป็นปัจจัยที่เป็นอิสระต่อกันในแต่ละโซนของกระบอกฉีดพลาสติก แต่ในการทดลองเพื่อค้นหาสภาวะที่เหมาะสมนั้นอุณหภูมิของกระบอกฉีดจะถูกกำหนดให้เป็นปัจจัยเดียว (Set Parameter) โดยมีวัตถุประสงค์ที่จะลดจำนวนการทดลอง ซึ่งสามารถที่จะลดต้นทุนในการทดลองลงได้ โดยวิธีการแบบนี้เป็นเทคนิคหรือกลยุทธ์สำหรับการออกแบบการทดลองกระบวนการฉีดพลาสติกโดยที่ระดับการทดลองเป็นดังนี้
 - อุณหภูมิของกระบอกฉีดโซนที่ 1, 2, 3 และ 4 เป็นดังนี้
 - ระดับที่ 1 : 180, 100, 180, 165 องศาเซลเซียส
 - ระดับที่ 2 : 195, 205, 195, 180 องศาเซลเซียส
 - ระดับที่ 3 : 210, 220, 210, 195 องศาเซลเซียส

ระดับของอุณหภูมิกระบอกฉีดที่กำหนดขึ้นนี้ได้พิจารณาจากข้อมูลการทดลองเบื้องต้นและอาศัยข้อมูลพื้นฐานจากการเริ่มต้นการผลิตรวมถึงข้อมูลทางเทคนิคของวัสดุดิบ POM ชนิด B กล่าวคืออุณหภูมิกระบอกฉีดที่เหมาะสมกับวัสดุดิบชนิด B อยู่ในช่วง 160 ถึง 220 องศาเซลเซียส โดยที่อุณหภูมิต่ำกว่า 160 องศาเซลเซียสไม่สามารถหลอมเหลวพลาสติกชนิด A ให้สมบูรณ์ได้ ขณะเดียวกันอุณหภูมิที่สูงกว่า 220 องศาเซลเซียส จะให้ความสามารถในการหลอมเหลวที่ไม่ต่างจากอุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส ดังนั้นจึงพิจารณากำหนดอุณหภูมิกระบอกฉีดที่ระดับสูงสุดเท่ากับ 220 องศาเซลเซียส

- อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นถูกกำหนดที่ 60 องศาเซลเซียสในการทดลองเพื่อค้นหาสภาวะที่เหมาะสมสืบเนื่องจากอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นไม่ส่งผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยรวมจึงเลือกใช้ที่อุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียส เพราะได้ค่าความแปรปรวนที่ต่ำกว่า
- เวลาที่ใช้ในการหล่อเย็นในขั้นตอนการทดลองเพื่อค้นหาสภาวะที่เหมาะสมนั้นถูกกำหนดไว้ 3 ระดับดังนี้
 - ระดับที่ 1 เท่ากับ 2 วินาที
 - ระดับที่ 2 เท่ากับ 3.5 วินาที
 - ระดับที่ 3 เท่ากับ 5 วินาที

โดยที่เวลาของการหล่อเย็นในแต่ละระดับที่กำหนดขึ้นนี้ได้อาศัยข้อมูลจากการออกแบบระบบหล่อเย็นของแม่พิมพ์ ซึ่งเวลาที่น้อยที่สุดที่สามารถระบายความร้อนให้กับแม่พิมพ์คือ 2 วินาที ขณะเดียวกันเวลา 5 วินาทีเป็นเวลาสูงสุดในการถ่ายเทความร้อนจากแม่พิมพ์ซึ่งเวลาที่นานกว่านี้ก็จะไม่ให้ความแตกต่างมากนักและเวลาในการหล่อเย็นที่นานเกินไปจะส่งผลต่อเวลาฉีดโดยรวมต่อ 1 วัฏจักร

- เวลาที่ใช้ในการอัดย้า (Holding Time) จะถูกกำหนดให้เป็นปัจจัยเดียว (Set Parameter) ในการทดลองเพื่อค้นหาสภาวะที่เหมาะสมซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับกรทดลองขั้นต้น ซึ่งถูกกำหนดให้เป็น 3 ปัจจัย ซึ่งเป็นอิสระต่อกันโดยที่ระดับการทดลองของเวลาในการอัดย้าช่วงที่ 1, 2 และ 3 มีดังนี้

- ระดับที่ 1 : 0.5, 0.5 และ 1.5 วินาที
- ระดับที่ 2 : 1.5, 1.5 และ 3 วินาที
- ระดับที่ 3 : 2.5, 2.5 และ 4.5 วินาที

เวลาในการอัดย้า (Holding Time) ที่กำหนดขึ้นในแต่ละระดับนั้นได้อาศัยข้อมูลเบื้องต้นจากเงื่อนไขการผลิตเริ่มแรกผนวกกับข้อมูลจากการออกแบบแม่พิมพ์ ซึ่งกำหนดไว้ว่าเวลาในการอัดย้าสำหรับ Hub-C2 ซึ่งมี 16 คาวิตี้ (cavity) ควรจะแบ่งออกเป็น 3 ช่วงและเวลาที่ Gate จะแข็งตัวสำหรับแม่พิมพ์ชนิดนี้ประมาณ 5 วินาที ดังนั้นระดับสูงสุดของเวลาในการอัดย้าที่กำหนดขึ้นจึงไม่ควรเกิน 4.5 วินาทีส่วนเวลาที่ต่ำที่สุดที่สามารถกำหนดได้คือ 0.5 วินาที

- แรงดันอัดย่ำ (Holding Pressure) ในการทดลองเพื่อค้นหาสภาวะที่เหมาะสมมีลักษณะเหมือนกับปัจจัยเวลาอัดย่ำ (Holding Time) กล่าวคือ จะถูกกำหนดให้เป็นปัจจัยเดียว (Set Parameter) โดยมีวัตถุประสงค์ในการลดระดับการทดลองและโดยปกติของปัจจัยลักษณะนี้สำหรับขบวนการฉีดพลาสติก สามารถที่จะแยกเป็นปัจจัยอิสระซึ่งกันและกัน เพื่อที่จะทำการศึกษาผลกระทบโดยละเอียดของแต่ละช่วงหรือแต่ละไซคน์ก็ได้ ซึ่งผลงานวิจัยฉบับนี้ในการทดลองขั้นต้นได้ทำการแยกปัจจัยออกมาเป็นอิสระในแต่ละช่วง เพื่อศึกษาผลกระทบซึ่งพบว่ามีความดันอัดย่ำบางช่วงเท่านั้นที่ส่งผลกระทบต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ดังนั้นในขั้นตอนการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมปัจจัยแรงดันอัดย่ำทั้ง 3 ปัจจัยในการทดลองขั้นต้นจะถูกกำหนดให้เป็นปัจจัยเดียว โดยมีระดับการทดลองเป็นดังนี้

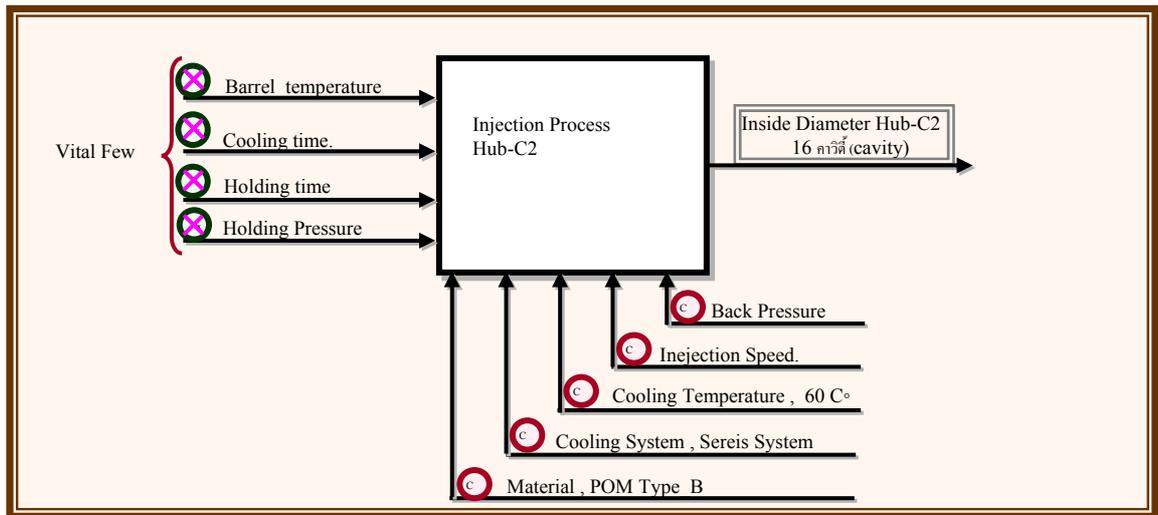
○ แรงดันที่ใช้ในการอัดย่ำ (Holding Pressure) ช่วงที่ 1, 2 และ 3 มีดังนี้

- ระดับที่ 1 : 360, 600 และ 200 Kg/cm²
- ระดับที่ 2 : 400, 650 และ 250 Kg/cm²
- ระดับที่ 3 : 450, 700 และ 300 Kg/cm²

แรงดันอัดย่ำที่กำหนดขึ้นในแต่ละระดับนั้นได้อาศัยข้อมูลจากการออกแบบแม่พิมพ์และการทดลองการผลิตตอนเริ่มต้นซึ่งพบว่าถ้าใช้แรงดันอัดย่ำที่ต่ำกว่า 200 Kg/cm² อาจส่งผลกระทบต่อภาพร่างของ Hub-C2 โดยที่จะเกิดอาการแห้วขาดของชิ้นงาน (Short Mold) ในขณะเดียวกันถ้าใช้ความดันอัดย่ำที่สูงเกินไป (มากกว่า 800 Kg/cm²) อาจส่งผลให้ชิ้นงานมีคريبได้ ดังนั้นช่วงแรงดันอัดย่ำที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการทดลองจึงอยู่ที่ระดับ 200 ถึง 700 Kg/cm²

5.2 การทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมและการวิเคราะห์ผล

การทดลองในขั้นตอนนี้เป็นการทดลองเพื่อหาระดับหรือสภาวะหรือเงื่อนไขของการผลิตที่ดีที่สุดของปัจจัยแต่ละปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง Hub-C2 ทั้ง 16 คาวิตี (cavity) โดยมีวัตถุประสงค์ที่ดีที่สุดของปัจจัยแต่ละปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทั้ง 16 คาวิตี (cavity) ในขั้นตอนการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมนี้ได้นำหลักทฤษฎีวิธีพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Metrology) มาใช้ในการค้นหาค่าที่ดีที่สุด โดยใช้วิธีการออกแบบการทดลองของ Box-Benhken มาช่วยในการออกแบบ ซึ่งมีวิธีการทดลองทั้งหมด 27 การทดลองภายใต้ 4 ตัวแปร และกำหนดระดับไว้ 3 ระดับของแต่ละตัวแปรและทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้งในแต่ละการทดลอง



ภาพที่ 5.2 แผนภูมิ IPO Matrix โดยแสดงความสัมพันธ์ปัจจัยที่ส่งผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง Hub-C2

5.2.1 ปัจจัยและระดับปัจจัยในการทดลองเพื่อค้นหาสภาวะที่เหมาะสม

จากที่ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้นว่าในการทดลองเบื้องต้นนั้นปัจจัยแต่ละปัจจัยในกลุ่มปัจจัยหลักจะถูกแยกให้เป็นอิสระต่อกัน เพื่อทำการศึกษาผลกระทบในแต่ละโซนของปัจจัยย่อยๆ ตัวอย่างเช่น กลุ่มของปัจจัยอุณหภูมิของกระบอกฉีด (Barrel Temperature) จะถูกแบ่งออกเป็น 4 โซนย่อยๆ เพื่อทำการศึกษาผลกระทบแต่ในการทดลองค้นหาสภาวะที่เหมาะสมนั้นจะทำการรวมปัจจัยย่อยๆ เหล่านี้เป็นปัจจัยหลัก เนื่องจากผู้ทำการวิจัยได้ทราบแล้วว่าปัจจัยย่อยใดบ้างที่ส่งผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางจากการทดลองเบื้องต้นและปัจจัยย่อยใดบ้างในกลุ่มปัจจัยหลักไม่ส่งผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง Hub-C2 ดังนั้นในการทดลองเพื่อค้นหาสภาวะที่เหมาะสมจึงทำการรวมปัจจัยย่อยทั้งหลายให้เป็นปัจจัยหลัก ซึ่งสามารถลดขั้นตอนการทดลองโดยส่งผลต่อต้นทุนและเวลาของการทดลอง

ตารางที่ 5.12 ปัจจัยและระดับปัจจัยของการทดลองเพื่อค้นหาสภาวะที่เหมาะสม

ลำดับ ที่	ปัจจัย	สัญลักษณ์	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2	ระดับที่ 3	หน่วย
1	วัสดุดิบ (พลาสติก POM)	A	เลือกใช้วัสดุดิบ POM ชนิด B			
2	ระบบหล่อเย็น (Cooling system)	B	เลือกใช้ระบบหล่อเย็นแบบอนุกรม (Cooling by series system)			
3	อุณหภูมิกระบอกล็อค	C	180, 190, 180, 165	195, 205, 195, 180	210, 220, 210, 195	°C
4	อุณหภูมิกระบอกล็อค (Cooling Temperature)	G	เลือกใช้อุณหภูมิที่ 60 °C			
5	เวลาในการหล่อเย็น (Cooling Time)	H	2	3.5	5	นาที
6	เวลาที่ใช้ในการอัดย้ำ (Holding Time)	J	0.5, 0.5, 1.5	1.5, 1.5, 3	2.5, 2.5, 4.5	วินาที
7	แรงดันอัดย้ำ (Holding Pressure)	M	360, 600, 200	400, 650, 250	450, 700, 300	Kg/cm ²

5.2.2 ภาพแบบการทดลองเพื่อค้นหาสภาวะที่เหมาะสม ดังแสดงในตารางที่ 5.13

ตารางที่ 5.13 แสดงภาพแบบการทดลองเพื่อค้นหาสภาวะที่เหมาะสม โดยใช้วิธีการออกแบบการทดลองของ Box-Benhken

Run	Blocks	Factor.			
		C (Barell Temp.)	H (Cooling Time)	J (Holding Time)	M (Holding Pressure)
1	1	180,190,180,165	2.0	1.5,1.5,3	400,650,250
2	1	210,220,210,195	2.0	1.5,1.5,3.0	400,650,250
3	1	180,190,180,165	5.0	1.5,1.5,3.0	400,650,250
4	1	210,220,210,195	5.0	1.5,1.5,3.0	400,650,250
5	1	195,205,195,180	3.5	0.5,0.5,1.5	360,600,200
6	1	195,205,195,180	3.5	2.5,2.5,4.5	360,600,200
7	1	195,205,195,180	3.5	0.5,0.5,1.5	450,700,300
8	1	195,205,195,180	3.5	2.5,2.5,4.5	450,700,300
9	1	195,205,195,180	3.5	1.5,1.5,3.0	400,650,250
10	2	180,190,180,165	3.5	0.5,0.5,1.5	400,650,250
11	2	210,220,210,195	3.5	0.5,0.5,1.5	400,650,250
12	2	180,190,180,165	3.5	2.5,2.5,4.5	400,650,250
13	2	210,220,210,195	3.5	2.5,2.5,4.5	400,650,250
14	2	195,205,195,180	2.0	1.5,1.5,3.0	360,600,200
15	2	195,205,195,180	5.0	1.5,1.5,3.0	360,600,200
16	2	195,205,195,180	2.0	1.5,1.5,3.0	450,700,300
17	2	195,205,195,180	5.0	1.5,1.5,3.0	450,700,300
18	2	195,205,195,180	3.5	1.5,1.5,3.0	400,650,250
19	3	180,190,180,165	3.5	1.5,1.5,3.0	360,600,200
20	3	210,220,210,195	3.5	1.5,1.5,3.0	360,600,200
21	3	180,190,180,165	3.5	1.5,1.5,3.0	450,700,300
22	3	210,220,210,195	3.5	1.5,1.5,3.0	450,700,300
23	3	195,205,195,180	2.0	0.5,0.5,1.5	400,650,250
24	3	195,205,195,180	5.0	0.5,0.5,1.5	400,650,250
25	3	195,205,195,180	2.0	2.5,2.5,4.5	400,650,250
26	3	195,205,195,180	5.0	2.5,2.5,4.5	400,650,250
27	3	195,205,195,180	3.5	1.5,1.5,3.0	400,650,250

5.2.3 ผลการทดลองเพื่อค้นหาสภาวะที่เหมาะสม

ผลการทดลองเพื่อค้นหาสภาวะที่เหมาะสมจะถูกแสดงโดยจัดแยกผลเป็นกลุ่ม คลัสเตอร์ (cluster) ตามแบบผลการทดลองขั้นต้นโดยมีรายละเอียดดังนี้

- คลัสเตอร์ (cluster) ที่ 1 ประกอบด้วยคาวิตี้ (cavity) A, B, C และ D
- คลัสเตอร์ (cluster) ที่ 2 ประกอบด้วยคาวิตี้ (cavity) E, F, G และ H
- คลัสเตอร์ (cluster) ที่ 3 ประกอบด้วยคาวิตี้ (cavity) I, J, K และ L
- คลัสเตอร์ (cluster) ที่ 4 ประกอบด้วยคาวิตี้ (cavity) M, N, O และ P

ตารางที่ 5.14 แสดงผลการทดลองการค้นหาสภาวะที่เหมาะสมของคลัสเตอร์ (cluster) ที่ 1 ประกอบด้วยคาวิตี (cavity) A, B, C และ D

		Cluster-1																							
Run	Blocks	Factor.				Response Cav_A					Response Cav_B					Response Cav_C					Response Cav_D				
		C	H	J	M	Cav_1-1	Cav_1-2	Cav_1-3	Average	Stdev.	Cav_2-1	Cav_2-2	Cav_2-3	Average	Stdev.	Cav_3-1	Cav_3-2	Cav_3-3	Average	Stdev.	Cav_4-1	Cav_4-2	Cav_4-3	Average	Stdev.
1	1	-1	-1	0	0	49.1	47.3	49.3	46.4	1.1	52.5	53.6	54.5	53.5	1.0	55.2	56.8	53.2	55.0	1.8	54.2	54.7	53.2	54.1	0.8
2	1	1	-1	0	0	46.0	46.0	47.8	45.2	1.0	51.5	52.2	54.2	52.6	1.4	53.5	55.3	52.4	53.7	1.5	52.4	52.2	50.9	51.8	0.8
3	1	-1	1	0	0	49.9	48.0	49.6	46.7	1.1	53.4	54.2	54.7	54.1	0.7	55.9	57.4	53.7	55.7	1.9	54.4	55.3	53.9	54.5	0.7
4	1	1	1	0	0	50.7	50.9	50.9	47.1	0.1	56.1	55.3	54.9	55.5	0.6	56.1	57.7	55.5	56.5	1.1	55.1	56.4	54.3	55.3	1.1
5	1	0	0	-1	-1	39.5	36.1	37.7	42.6	1.7	49.1	46.8	48.8	48.2	1.2	44.3	47.5	46.3	46.0	1.6	44.2	43.9	40.9	43.0	1.8
6	1	0	0	1	-1	45.2	45.3	45.8	45.1	0.4	51.2	50.7	52.9	51.6	1.2	51.6	54.2	52.1	52.6	1.4	51.5	51.4	49.5	50.8	1.1
7	1	0	0	-1	1	53.6	54.3	53.4	55.7	0.4	58.1	58.1	57.6	57.9	0.3	58.7	61.0	59.9	59.8	1.2	60.3	64.5	59.1	61.3	2.8
8	1	0	0	1	1	62.9	58.6	56.8	63.5	3.1	62.2	61.6	63.3	62.4	0.9	65.7	64.2	66.3	65.4	1.1	62.7	66.7	63.3	64.2	2.1
9	1	0	0	0	0	50.1	49.3	50.5	46.7	0.6	55.5	55.3	54.9	55.3	0.3	56.0	57.6	54.2	55.9	1.7	54.4	55.7	54.3	54.8	0.8
10	2	-1	0	-1	0	44.4	44.3	44.9	44.3	0.4	50.7	49.8	52.6	51.0	1.4	50.3	52.7	51.4	51.5	1.2	51.0	50.5	46.5	49.3	2.5
11	2	1	0	-1	0	45.4	45.6	47.4	45.1	1.1	51.3	51.8	53.7	52.3	1.3	53.1	55.0	52.2	53.4	1.4	52.2	51.5	50.7	51.5	0.8
12	2	-1	0	1	0	52.0	51.6	52.3	48.9	0.4	57.0	57.1	55.9	56.7	0.7	57.0	58.8	59.1	58.3	1.1	59.7	60.2	56.5	58.8	2.0
13	2	1	0	1	0	52.1	52.2	53.0	49.3	0.5	57.2	57.4	56.8	57.1	0.3	57.2	58.8	59.3	58.4	1.1	59.7	62.0	57.2	59.6	2.4
14	2	0	-1	0	-1	41.5	37.4	37.8	43.3	2.2	49.4	48.2	49.5	49.0	0.7	47.2	49.1	49.1	48.5	1.1	47.5	44.5	41.1	44.4	3.2
15	2	0	1	0	-1	42.3	39.3	44.0	44.2	2.3	50.2	49.3	50.4	49.9	0.6	49.1	50.9	50.3	50.1	0.9	49.3	49.3	45.5	48.0	2.2
16	2	0	-1	0	1	54.0	56.5	54.4	58.7	1.3	60.2	59.7	59.2	59.7	0.5	61.0	62.0	63.8	62.3	1.4	60.6	64.5	60.5	61.9	2.3
17	2	0	1	0	1	54.6	56.9	54.4	59.1	1.4	60.7	59.9	60.5	60.3	0.4	63.0	63.1	64.8	63.6	1.0	61.3	65.1	61.1	62.5	2.2
18	2	0	0	0	0	50.9	51.3	51.0	47.2	0.2	56.3	55.7	55.1	55.7	0.6	56.2	58.1	56.2	56.9	1.1	58.5	59.1	54.9	57.5	2.3
19	3	-1	0	0	-1	42.7	41.9	44.8	44.2	1.5	50.5	49.5	52.4	50.8	1.5	49.6	51.8	50.5	50.7	1.1	50.1	50.0	46.3	48.8	2.2
20	3	1	0	0	-1	42.1	38.1	40.9	43.7	2.1	50.0	48.6	49.7	49.4	0.7	49.0	49.3	50.1	49.5	0.6	48.0	45.1	44.6	45.9	1.9
21	3	-1	0	0	1	55.6	58.4	54.4	59.2	2.0	61.5	60.7	61.5	61.2	0.5	65.4	64.1	66.1	65.2	1.0	62.3	65.5	61.9	63.2	2.0
22	3	1	0	0	1	53.8	56.5	54.0	58.1	1.5	59.8	59.4	58.9	59.4	0.5	60.8	61.9	61.7	61.5	0.6	61.3	65.0	61.1	62.5	2.2
23	3	0	-1	-1	0	44.9	44.9	45.1	44.7	0.1	50.7	50.5	52.8	51.3	1.3	50.4	52.8	51.8	51.7	1.2	51.4	51.1	46.9	49.8	2.5
24	3	0	1	-1	0	46.7	47.2	48.0	45.4	0.7	51.9	52.9	54.2	53.0	1.2	53.5	55.5	52.7	53.9	1.4	53.4	54.3	51.7	53.1	1.3
25	3	0	-1	1	0	51.2	51.4	51.2	47.7	0.1	56.3	56.5	55.9	56.3	0.3	56.7	58.2	58.8	57.9	1.1	59.2	59.5	56.0	58.2	1.9
26	3	0	1	1	0	52.6	52.4	53.1	49.8	0.4	57.6	57.6	57.2	57.5	0.2	57.4	60.2	59.4	59.0	1.4	60.2	64.1	58.6	61.0	2.9
27	3	0	0	0	0	48.1	47.2	48.7	46.20	0.76	52.1	53.3	54.3	53.2	1.1	55.1	55.5	52.9	54.5	1.4	53.8	54.5	51.8	53.4	1.4

ตารางที่ 5.15 แสดงผลการทดลองการค้นหาสภาวะที่เหมาะสมของ คลัสเตอร์ (cluster) ที่ 2 ประกอบด้วยคาวิตี (cavity) E, F, G และ H

		Cluster-2																							
Run	Blocks	Factor.				Response Cav_E					Response Cav_F					Response Cav_G					Response Cav_H				
		C	H	J	M	Cav_5-1	Cav_5-2	Cav_5-3	Average	Stdev.	Cav_6-1	Cav_6-2	Cav_6-3	Average	Stdev.	Cav_7-1	Cav_7-2	Cav_7-3	Average	Stdev.	Cav_8-1	Cav_8-2	Cav_8-3	Average	Stdev.
1	1	-1	-1	0	0	48.4	49.6	49.3	49.1	0.6	50.3	52.2	50.9	51.1	1.0	49.2	46.7	48.2	48.0	1.2	49.3	49.0	47.2	48.5	1.1
2	1	1	-1	0	0	44.8	48.9	46.8	46.8	2.1	52.2	52.9	53.2	52.8	0.6	48.1	44.5	44.6	45.7	2.1	51.3	50.2	48.0	49.8	1.7
3	1	-1	1	0	0	49.2	50.0	50.6	49.9	0.7	52.8	53.0	53.3	53.0	0.2	50.1	48.7	49.1	49.3	0.7	52.8	50.5	49.5	50.9	1.7
4	1	1	1	0	0	49.2	50.2	51.2	50.2	1.0	52.2	53.0	53.3	52.8	0.6	49.6	47.5	48.9	48.7	1.1	52.0	50.5	48.3	50.3	1.9
5	1	0	0	-1	-1	38.7	39.8	40.8	39.8	1.1	42.5	40.5	45.7	42.9	2.6	38.0	37.8	33.9	36.6	2.3	45.4	39.8	37.8	41.0	3.9
6	1	0	0	1	-1	43.9	48.7	46.6	46.4	2.4	49.8	51.3	50.4	50.5	0.8	46.9	44.5	43.9	45.1	1.6	48.7	46.0	46.0	46.9	1.6
7	1	0	0	-1	1	52.5	51.7	54.6	52.9	1.5	55.3	53.9	55.8	55.0	1.0	53.7	52.6	50.9	52.4	1.4	55.1	53.6	54.4	54.4	0.8
8	1	0	0	1	1	59.6	58.2	56.2	58.0	1.7	60.2	59.2	57.7	59.0	1.2	55.9	58.2	57.0	57.0	1.2	63.3	58.2	62.1	61.2	2.7
9	1	0	0	0	0	50.8	50.9	51.8	51.2	0.6	52.9	53.1	53.6	53.2	0.3	49.7	47.9	48.9	48.8	0.9	52.8	51.0	49.9	51.2	1.4
10	2	-1	0	-1	0	46.6	49.5	48.7	48.3	1.5	51.8	52.8	52.6	52.4	0.5	46.1	42.9	42.4	43.8	2.0	50.8	50.1	47.9	49.6	1.5
11	2	1	0	-1	0	42.2	46.1	44.9	44.4	2.0	47.6	47.4	48.9	48.0	0.8	48.0	44.5	44.6	45.7	2.0	48.2	45.4	45.4	46.3	1.6
12	2	-1	0	1	0	46.1	49.2	48.4	47.9	1.6	50.7	52.3	50.9	51.3	0.9	53.4	51.0	49.7	51.4	1.9	54.2	52.3	52.7	53.1	1.0
13	2	1	0	1	0	51.5	51.7	53.7	52.3	1.2	53.8	53.8	54.8	54.1	0.6	53.4	51.0	49.9	51.4	1.8	50.7	49.5	47.4	49.2	1.7
14	2	0	-1	0	-1	41.1	42.3	41.0	41.5	0.7	46.9	42.6	46.1	45.2	2.3	43.6	41.6	36.1	40.4	3.9	45.6	42.8	38.6	42.3	3.5
15	2	0	1	0	-1	41.4	44.8	44.6	43.6	1.9	47.3	45.7	47.4	46.8	1.0	44.1	41.9	40.1	42.0	2.0	47.7	45.0	45.3	46.0	1.5
16	2	0	-1	0	1	54.6	52.3	54.9	53.9	1.4	56.7	55.3	56.2	56.1	0.7	54.6	53.2	52.9	53.6	0.9	58.1	55.8	56.9	56.9	1.1
17	2	0	1	0	1	55.3	52.5	55.6	54.4	1.7	57.3	56.4	57.0	56.9	0.4	55.5	53.6	54.4	54.5	1.0	55.8	54.7	54.5	55.0	0.7
18	2	0	0	0	0	50.8	50.9	51.9	51.2	0.6	53.0	53.3	53.7	53.3	0.4	51.1	49.3	49.3	49.9	1.1	53.8	51.0	50.9	51.9	1.6
19	3	-1	0	0	-1	41.4	45.7	44.8	44.0	2.2	47.4	46.0	48.2	47.2	1.1	46.0	42.6	40.7	43.1	2.7	47.8	45.2	45.4	46.1	1.5
20	3	1	0	0	-1	41.4	43.8	41.9	42.3	1.3	47.2	44.9	46.5	46.2	1.2	43.8	41.8	40.0	41.9	1.9	45.7	44.8	44.3	44.9	0.7
21	3	-1	0	0	1	59.3	53.4	56.1	56.3	3.0	59.2	57.4	57.0	57.9	1.2	55.8	56.7	55.9	56.1	0.5	60.3	56.6	58.8	58.6	1.9
22	3	1	0	0	1	55.2	52.5	55.3	54.3	1.6	56.9	55.8	56.9	56.6	0.7	53.8	53.0	51.7	52.8	1.1	56.9	54.7	55.3	55.6	1.1
23	3	0	-1	-1	0	42.7	47.6	46.3	45.5	2.6	49.5	50.8	49.9	50.1	0.7	46.9	44.4	43.5	44.9	1.7	48.9	48.5	46.5	47.9	1.3
24	3	0	1	-1	0	46.5	49.4	48.5	48.2	1.5	51.4	52.6	51.2	51.7	0.7	48.2	45.1	46.6	46.6	1.5	50.8	49.7	47.6	49.4	1.6
25	3	0	-1	1	0	51.2	51.2	53.1	51.8	1.1	53.5	53.6	54.3	53.8	0.4	53.1	49.8	49.7	50.9	1.9	54.1	51.1	50.9	52.0	1.8
26	3	0	1	1	0	51.9	51.7	54.4	52.7	1.5	54.9														

ตารางที่ 5.16 แสดงผลการทดลองการค้นหาสภาวะที่เหมาะสมของ คลัสเตอร์ (cluster) ที่ 3 ประกอบด้วยคavity (cavity) I, J, K และ L

Cluster-3																									
Run	Blocks	Factor.				Response Cav_I					Response Cav_J					Response Cav_K					Response Cav_L				
		C	H	J	M	Cav_9-1	Cav_9-2	Cav_9-3	Average	Stdev.	Cav_10-1	Cav_10-2	Cav_10-3	Average	Stdev.	Cav_11-1	Cav_11-2	Cav_11-3	Average	Stdev.	Cav_12-1	Cav_12-2	Cav_12-3	Average	Stdev.
1	1	-1	-1	0	0	48.1	50.6	43.9	47.5	3.4	46.3	45.8	48.1	46.7	1.2	51.4	47.7	48.3	49.1	2.0	49.2	49.0	51.8	50.0	1.6
2	1	1	-1	0	0	51.2	52.8	48.1	50.7	2.4	48.8	49.5	50.3	49.5	0.8	53.4	50.8	50.6	51.6	1.6	45.5	47.4	49.8	47.6	2.2
3	1	-1	1	0	0	52.9	53.1	49.1	51.7	2.2	50.7	49.6	53.7	51.4	2.1	55.0	52.0	51.3	52.7	1.9	49.9	50.2	52.7	50.9	1.5
4	1	1	1	0	0	52.7	53.0	48.6	51.4	2.4	49.4	49.6	50.6	49.9	0.7	54.2	50.9	50.9	52.0	1.9	49.5	49.4	52.2	50.4	1.6
5	1	0	0	-1	-1	42.5	39.8	37.4	39.9	2.6	34.3	41.0	42.1	39.2	4.2	44.7	41.0	41.4	42.4	2.0	42.1	43.1	43.0	42.7	0.6
6	1	0	0	1	-1	47.6	47.8	43.7	46.4	2.3	45.5	45.5	48.0	46.3	1.5	51.4	47.5	48.3	49.1	2.1	44.9	47.3	49.6	47.3	2.4
7	1	0	0	-1	1	56.1	58.1	52.8	55.6	2.7	53.8	53.5	57.0	54.8	2.0	58.0	55.3	55.5	56.3	1.5	53.2	53.1	55.1	53.8	1.1
8	1	0	0	1	1	62.2	66.2	65.5	64.6	2.1	59.5	56.3	59.6	58.5	1.9	63.8	62.6	61.2	62.5	1.3	60.6	59.4	63.2	61.1	1.9
9	1	0	0	0	0	53.4	53.5	49.3	52.1	2.4	51.1	50.4	55.4	52.5	2.7	55.2	53.2	52.6	53.7	1.4	50.5	50.2	53.3	51.3	1.7
10	2	-1	0	-1	0	45.7	46.7	41.0	44.4	3.0	48.0	49.2	49.1	48.8	0.7	52.8	50.7	49.1	50.8	1.8	43.7	46.5	48.1	46.1	2.2
11	2	1	0	-1	0	49.8	52.0	48.0	49.9	2.0	43.9	44.3	47.6	45.3	2.0	50.3	47.1	46.8	48.1	1.9	48.9	48.3	50.5	49.2	1.2
12	2	-1	0	1	0	55.3	56.3	52.4	54.6	2.0	47.4	46.6	48.1	47.4	0.8	57.3	54.2	55.2	55.6	1.6	51.7	51.7	54.4	52.6	1.6
13	2	1	0	1	0	48.5	52.0	45.8	48.7	3.1	52.5	52.3	57.0	53.9	2.6	51.6	50.4	48.6	50.2	1.5	46.4	47.6	49.8	47.9	1.7
14	2	0	-1	0	-1	43.8	46.1	40.5	43.4	2.8	40.8	41.9	46.2	43.0	2.8	48.4	42.1	44.0	44.9	3.2	43.3	46.2	45.8	45.1	1.6
15	2	0	1	0	-1	42.7	42.9	38.0	41.2	2.8	39.4	41.4	44.2	41.7	2.4	50.1	45.1	45.1	46.8	2.9	42.4	43.2	43.9	43.1	0.7
16	2	0	-1	0	1	56.2	59.1	53.3	56.2	2.9	54.2	54.8	57.2	55.4	1.6	58.2	56.4	56.5	57.0	1.0	53.8	53.6	55.9	54.4	1.3
17	2	0	1	0	1	59.3	61.7	58.1	59.7	1.9	55.8	55.7	57.4	56.3	1.0	59.3	57.4	59.3	58.6	1.1	54.6	59.2	58.3	57.4	2.5
18	2	0	0	0	0	53.6	54.5	50.4	52.8	2.1	51.7	51.3	55.7	52.9	2.4	55.5	53.5	52.8	53.9	1.4	50.9	50.8	53.9	51.9	1.8
19	3	-1	0	0	-1	43.0	45.5	40.1	42.9	2.7	42.2	43.3	46.7	44.2	2.3	50.2	45.2	46.4	47.3	2.6	43.4	46.2	46.7	45.4	1.7
20	3	1	0	0	-1	44.2	46.5	40.7	43.8	2.9	40.4	41.8	44.8	42.4	2.2	49.5	43.5	45.1	46.0	3.1	43.1	44.6	44.3	44.0	0.8
21	3	-1	0	0	1	60.5	64.6	59.1	61.4	2.8	56.5	56.0	58.4	57.0	1.3	62.0	58.0	60.8	60.2	2.0	55.2	59.3	60.2	58.2	2.6
22	3	1	0	0	1	57.9	61.1	53.3	57.5	3.9	55.1	55.0	57.4	55.9	1.4	58.6	56.7	56.9	57.4	1.0	53.9	57.6	57.6	56.3	2.1
23	3	0	-1	-1	0	46.8	46.9	43.3	45.7	2.0	44.6	44.5	47.7	45.6	1.8	50.5	47.5	47.0	48.3	1.9	44.2	46.8	48.9	46.6	2.4
24	3	0	1	-1	0	48.5	52.0	46.0	48.8	3.0	47.7	49.0	48.4	48.4	0.6	51.9	50.6	48.8	50.4	1.5	46.5	48.2	50.4	48.4	2.0
25	3	0	-1	1	0	55.3	57.3	52.5	55.1	2.4	53.6	53.3	57.0	54.6	2.1	56.4	53.7	53.5	54.6	1.6	52.7	52.3	54.4	53.1	1.1
26	3	0	1	1	0	53.9	55.9	51.7	53.8	2.1	52.2	52.2	55.8	53.4	2.1	57.7	54.6	55.3	55.9	1.6	51.3	51.4	53.9	52.2	1.5
27	3	0	0	0	0	50.4	52.5	48.0	50.3	2.2	48.6	49.3	49.4	49.1	0.4	53.0	50.7	50.2	51.3	1.5	49.2	48.4	50.8	49.5	1.2

ตารางที่ 5.17 แสดงผลการทดลองการค้นหาสภาวะที่เหมาะสมของ คลัสเตอร์ (cluster) ที่ 4 ประกอบด้วยคavity (cavity) M, N, O และ P

Cluster-4																									
Run	Blocks	Factor.				Response Cav_M					Response Cav_N					Response Cav_O					Response Cav_P				
		C	H	J	M	Cav_13-1	Cav_13-2	Cav_13-3	Average	Stdev.	Cav_14-1	Cav_14-2	Cav_14-3	Average	Stdev.	Cav_15-1	Cav_15-2	Cav_15-3	Average	Stdev.	Cav_16-1	Cav_16-2	Cav_16-3	Average	Stdev.
1	1	-1	-1	0	0	51.8	51.9	50.7	51.5	0.7	51.7	51.5	55.1	52.8	2.1	49.5	47.8	46.7	48.0	1.4	47.4	47.9	47.2	47.5	0.4
2	1	1	-1	0	0	47.9	50.7	47.3	48.6	1.8	48.7	48.3	52.9	50.0	2.6	46.7	46.2	44.7	45.9	1.1	45.2	43.8	44.0	44.3	0.8
3	1	-1	1	0	0	56.8	53.0	51.4	53.7	2.8	52.1	54.2	57.3	54.5	2.6	49.9	49.2	47.2	48.7	1.4	48.7	49.8	47.8	48.7	1.0
4	1	1	1	0	0	55.4	52.3	51.2	53.0	2.2	51.7	52.2	56.9	53.6	2.8	49.7	48.9	47.0	48.5	1.4	48.6	48.3	47.4	48.1	0.6
5	1	0	0	-1	-1	41.4	40.2	38.8	40.1	1.3	43.2	42.9	45.6	43.9	1.5	37.0	41.9	38.9	39.3	2.5	35.0	39.9	36.7	37.2	2.5
6	1	0	0	1	-1	47.8	50.0	46.8	48.2	1.6	48.7	48.2	52.9	49.9	2.6	45.0	44.5	44.9	0.3	44.9	43.7	43.3	44.0	0.8	
7	1	0	0	-1	1	60.2	56.4	53.7	56.8	3.2	58.0	57.1	59.7	58.3	1.3	53.1	52.7	50.2	52.0	1.6	52.9	51.6	49.5	51.3	1.7
8	1	0	0	1	1	68.0	62.8	66.0	65.6	2.6	62.1	62.1	67.5	63.9	3.1	56.7	57.4	61.7	58.6	2.7	56.9	66.2	54.2	59.1	6.3
9	1	0	0	0	0	57.0	53.3	51.6	54.0	2.8	52.1	54.4	57.7	54.8	2.8	50.1	49.2	47.3	48.8	1.4	48.9	50.2	47.8	49.0	1.2
10	2	-1	0	-1	0	46.3	49.5	44.8	46.9	2.4	49.5	50.9	53.9	51.4	2.2	48.4	47.2	46.4	47.3	1.0	46.5	47.1	46.0	46.5	0.6
11	2	1	0	-1	0	50.5	51.4	49.3	50.4	1.1	48.2	47.5	52.2	49.3	2.6	43.5	44.6	42.8	43.7	0.9	44.1	43.4	42.9	43.5	0.6
12	2	-1	0	1	0	58.3	55.2	52.2	55.2	3.1	56.1	56.8	58.3	57.0	1.1	52.6	50.7	48.2	50.5	2.2	51.5	50.8	48.9	50.4	1.3
13	2	1	0	1	0	48.7	50.9	48.3	49.3	1.4	49.1	50.4	53.4	50.9	2.2	47.9	47.1	44.9	46.6	1.6	45.5	45.6	44.0	45.0	0.9
14	2	0	-1	0	-1	45.7	47.5	40.9	44.7	3.4	46.8	46.8	50.2	47.9	2.0	38.9	42.9	39.8	40.5	2.1	37.2	40.4	38.3	38.6	1.6
15	2	0	1	0	-1	41.7	43.3	39.3	41.4	2.0	45.9	44.2	46.0	45.4	1.0	40.5	43.2	41.4	41.7	1.4	41.7	42.3	41.7	41.9	0.4
16	2	0	-1	0	1	61.3	57.7	55.7	58.2	2.8	59.1	57.6	63.6	60.1	3.1	53.6	53.2	53.0	53.0	0.7	53.2	56.3	49.6	53.0	3.4
17	2	0	1	0	1	62.7	60.4	57.4	60.2	2.7	58.3	57.3	60.2	58.6	1.5	54.9	54.5	54.1	54.5	0.4	55.7	58.4	52.6	55.6	2.9
18	2	0	0	0	0	57.0	53.6	51.7	54.1	2.7	54.2	56.3	57.8	56.1	1.8	50.3	50.4	47.3	49.3	1.8	49.5	50.4	48.0	49.3	1.2
19	3	-1	0	0	-1	46.0	48.6	44.4	46.3	2.2	47.5	46.9	51.7	48.7	2.6	39.0	43.2	40.9	41.0	2.1	41.4	40.8	39.6	40.6	0.9
20	3	1	0	0	-1	44.2	46.7	40.5	43.8	3.1	46.8	46.1	46.2	46.3	0.4	43.2	44.6	42.8	43.5	1.0	42.8	42.8	41.8	42.5	0.6
21	3	-1	0	0	1	62.8	61.4	59.5	61.2	1.7	60.6	57.7	64.0	60.7	3.2	54.9	54.9	55.2	55.0	0.1	56.5	58.9	52.9	56.1	3.0
22	3	1	0	0	1	61.8	59.4	57.1	59.4	2.3	59.0	57.4	63.3	59.9	3.1	53.7	54.3	53.2	53.7	0.5	54.5	57.4	51.3	54.4	3.1
23	3	0	-1	-1	0	46.9	49.9	45.1	47.3	2.4	49.1	50.8	53.5	51.1	2.2	44.9	44.8	44.1	44.6	0.5	44.2	43.6	43.0	43.6	0.6
24	3	0	1	-1	0	50.2	51.2	48.4	49.9	1.4	48.5	47.7	52.7	49.8	2.7	48.3	47.2	45.5	47.0	1.4	46.0	46.3	44.1	45.5	1.2
25	3	0	-1	1	0	59.1	55.8	53.1	56.0	3.0	57.8	56.9	58.7	57.8	0.9	50.6	50.5	48.2	49.8	1.4	50.6	50.6	48.2	49.8	1.4
26	3	0	1	1	0	57.1	55.0	52.0	54.7	2.6	54.5	56.6													

5.2.4 สรุปผลการทดลองเพื่อค้นหาสภาวะที่เหมาะสม

จากผลการทดลองเพื่อค้นหาสภาวะที่เหมาะสมซึ่งใช้หลักการออกแบบการทดลองของ Box-Benken จำนวน 27 การทดลอง ซึ่งในแต่ละการทดลองจะมีการทำซ้ำ 3 ครั้ง โดยจำนวนการทดลองทั้งหมด 81 ครั้งได้ถูกทำการวิเคราะห์การทดลองโดยใช้หลักการวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อพิจารณาปัจจัยใดบ้างที่มีอิทธิพลส่งผลกระทบต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง Hub-C2 โดยหลักเกณฑ์ในการพิจารณาค่า p-Value จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนไว้ที่ $\alpha = 0.05$ (95% Confidence Interval) โดยที่ผลการวิเคราะห์การทดลองดังแสดงต่อไปนี้

5.2.4.1 วิเคราะห์ผลการทดลองของคลัสเตอร์ (cluster) ที่ 1 ซึ่งประกอบด้วยคาวิตี (cavity) A, B, C และ D

- ปัจจัยที่มีอิทธิพลส่งผลกระทบต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ คาวิตี (cavity) A คือเวลาในการหล่อเย็น (Cooling Time) เวลาในการอัดย่ำ (Holding Time) และแรงดันอัดย่ำ (Holding Pressure) โดยผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนให้ค่า p-Value ในระดับที่ต่ำกว่า 0.05 และขณะเดียวกันยังมีอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัย 2 ปัจจัยคืออุณหภูมิของกระบอกฉีด (Barrel Temperature) และเวลาในการหล่อเย็น (Cooling Time) โดยที่ค่า p-Value เท่ากับ 0.036 และผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนดังแสดงในตารางที่ 5.18

ตารางที่ 5.18 การวิเคราะห์ความแปรปรวนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ คาวิตี (cavity) A

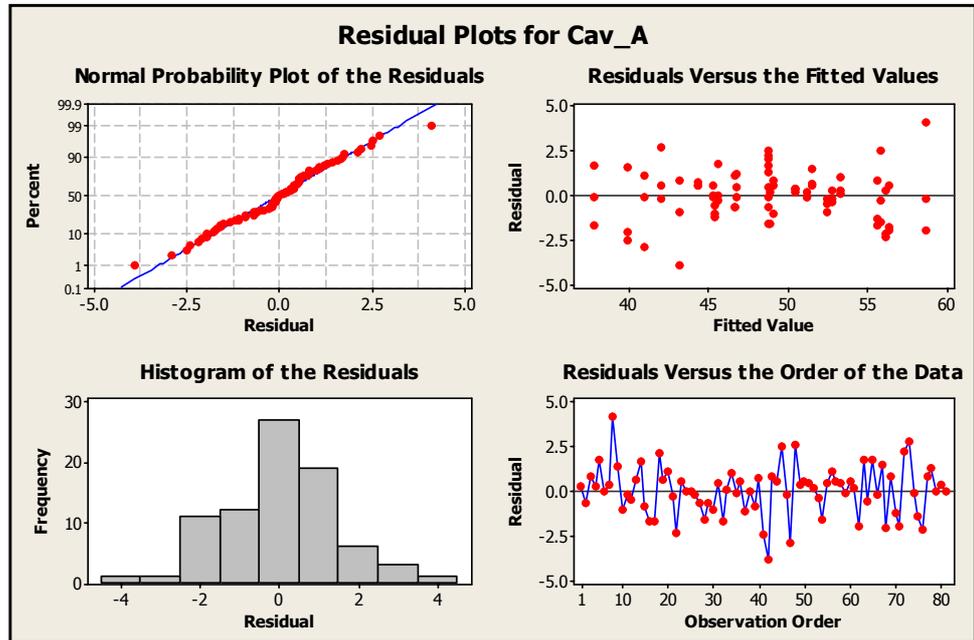
Cavity_A				
Response Surface Regression: Cav_A versus Bar Temp., Cooling time, ..				
Estimated Regression Coefficients for Cav_A				
Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	48.7901	0.1633	298.786	0.000
Bar Temp.	-0.1972	0.2449	-0.805	0.423
Cooling time	0.9917	0.2449	4.049	0.000
Holding time	3.2306	0.2449	13.189	0.000
Holding Pres.	7.2417	0.2449	29.565	0.000
Bar Temp.*Cooling time	0.9083	0.4243	2.141	0.036
Bar Temp.*Holding time	-0.2833	0.4243	-0.668	0.506
Bar Temp.*Holding Pres.	0.35	0.4243	0.825	0.412
Cooling time*Holding time	-0.225	0.4243	-0.53	0.598
Cooling time*Holding Pres.	-0.6583	0.4243	-1.552	0.125
Holding time*Holding Pres.	-0.5	0.4243	-1.179	0.243

S = 1.470 R-Sq = 93.9% R-Sq(adj) = 93.0%

Analysis of Variance for Cav_A

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	10	2321.56	2321.56	232.156	107.49	0
Linear	4	2300.42	2300.42	575.105	266.27	0
Interaction	6	21.14	21.14	3.524	1.63	0.151
Residual Error	70	151.19	151.19	2.16		
Lack-of-Fit	14	42.53	42.53	3.038	1.57	0.119
Pure Error	56	108.66	108.66	1.94		
Total	80	2472.75				

ภาพที่ 5.3 การทดสอบการกระจายของข้อมูลและความเป็นอิสระของข้อมูลของ คาวิตี (cavity) A



หมายเหตุ จากภาพที่ 5.3 แสดงให้เห็นการกระจายตัวของข้อมูลเป็นลักษณะเส้นตรงและกระจายตัวเป็นปกติโดยพิจารณาจาก Histogram รวมทั้งข้อมูลมีการกระจายตัวแบบเป็นอิสระไม่ขึ้นตรงต่อกัน และไม่มีภาพแบบ ดังนั้นข้อมูลดังกล่าวมีความน่าเชื่อถือและแบบจำลองหรือ Model มีความน่าเชื่อถือเช่นกัน

- ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางคาวิตี (cavity) B มีทั้งหมด 3 ปัจจัยหลัก กล่าวคือเวลาในการหล่อเย็น (Cooling Time) เวลาในการอัดยี้ (Holding Time) และแรงอัดยี้ (Holding Pressure) ซึ่งปัจจัยทั้ง 3 นี้ให้ค่า p-Value เท่ากับ 0.00 และในขณะเดียวกันยังมีอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิของกระบอกฉีด (Barrel Temperature) และเวลาในการหล่อเย็น (Cooling Time) ส่งผลอย่างเล็กน้อยต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ คาวิตี (cavity) B โดยผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนดังแสดงในตารางที่ 5.19

ตารางที่ 5.19 การวิเคราะห์ความแปรปรวนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของคาวิตี (cavity) B

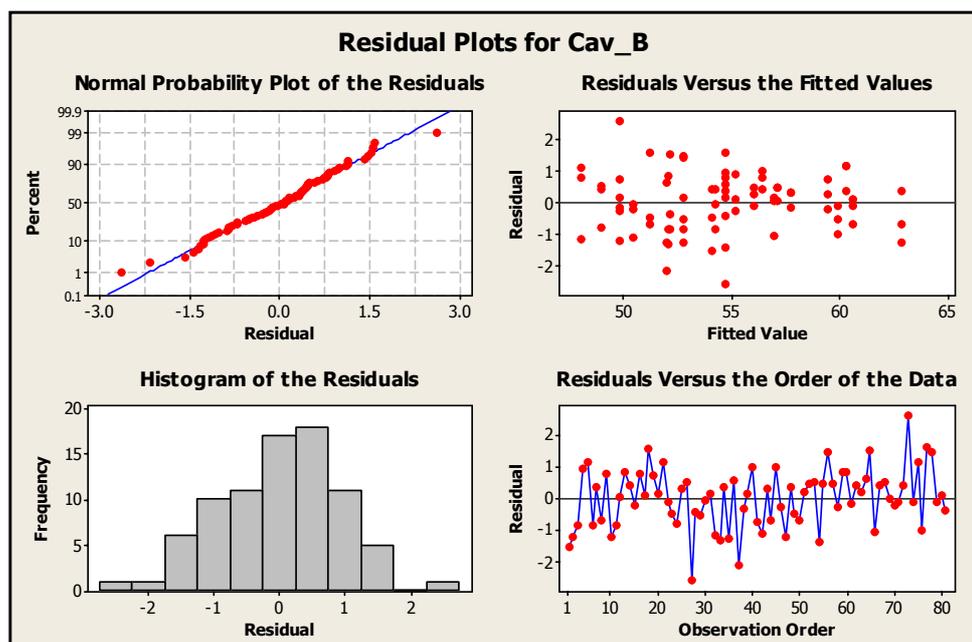
Cavity_B				
Response Surface Regression: Cav_B versus Bar Temp., Cooling time, ..				
Estimated Regression Coefficients for Cav_B				
Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	54.7222	0.3388	161.528	0.000
Bar Temp.	-0.0917	0.1694	-0.541	0.590
Cooling time	0.6556	0.1694	3.87	0.000
Holding time	2.3056	0.1694	13.611	0.000
Holding Pres.	5.1583	0.1694	30.453	0.000
Bar Temp.*Bar Temp.	-0.2764	0.2541	-1.088	0.281
Cooling time*Cooling time	-0.3806	0.2541	-1.498	0.139
Holding time*Holding time	-0.0722	0.2541	-0.284	0.777
Holding Pres.*Holding Pres	0.5236	0.2541	2.061	0.043
Bar Temp.*Cooling time	0.5583	0.2934	1.903	0.061
Bar Temp.*Holding time	-0.1917	0.2934	-0.653	0.516
Bar Temp.*Holding Pres.	-0.125	0.2934	-0.426	0.671
Cooling time*Holding time	-0.1083	0.2934	-0.369	0.713
Cooling time*Holding Pres.	-0.0667	0.2934	-0.227	0.821
Holding time*Holding Pres	0.2667	0.2934	0.909	0.367

S = 1.016 R-Sq = 94.5% R-Sq(adj) = 93.4%

Analysis of Variance for Cav_B

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	14	1182.3	1182.3	84.45	81.76	0
Linear	4	1165.04	1165.04	291.259	281.97	0
Square	4	11.85	11.85	2.961	2.87	0.03
Interaction	6	5.42	5.42	0.903	0.87	0.519
Residual	Error	66	68.17	68.17	1.033	
Lack-of-Fit	10	16.15	16.15	1.615	1.74	0.095
Pure Error	56	52.02	52.02	0.929		
Total	80	1250.47				

ภาพที่ 5.4 การทดสอบการกระจายของข้อมูลและความเป็นอิสระของข้อมูลของคาวิตี (cavity) B



หมายเหตุ จากภาพที่ 5.4 พิจารณาจากการทดสอบการกระจายของข้อมูลพบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวเป็นแบบปกติและลักษณะการกระจายตัวเป็นแบบอิสระไม่มีภาพแบบและไม่ขึ้นตรงต่อกัน ซึ่งข้อมูลดังกล่าวส่งผลให้แบบจำลองมีความน่าเชื่อถือ

- ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของคาวิตี (cavity) C อย่างมีนัยสำคัญคือ เวลาในการหล่อเย็น (Cooling Time) เวลาในการอัดย៉ำ (Holding Time) และแรงอัดย៉ำ (Holding Pressure) โดยที่ไม่มีอิทธิพลร่วมของปัจจัยใดๆ ที่ส่งผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของคาวิตี (cavity) C ซึ่งผลการวิเคราะห์แปรปรวนดังแสดงในตารางที่ 5.20

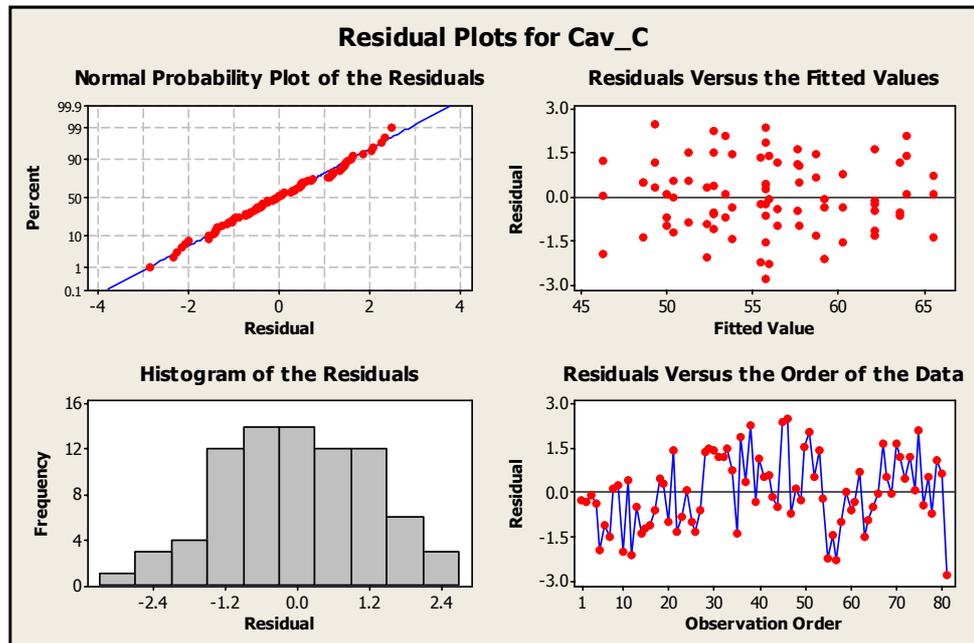
ตารางที่ 5.20 การวิเคราะห์ความแปรปรวนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของคาวิตี (cavity) C

Cavity_C				
Response Surface Regression: Cav_C versus Bar Temp., Cooling time, ...				
Estimated Regression Coefficients for Cav_C				
Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	55.7556	0.4484	124.348	0.000
Bar Temp.	-0.2806	0.2242	-1.251	0.215
Cooling time	0.8028	0.2242	3.581	0.001
Holding time	2.9417	0.2242	13.121	0.000
Holding Pres.	6.7083	0.2242	29.922	0.000
Bar Temp.*Bar Temp.	-0.0556	0.3363	-0.165	0.869
Cooling time*Cooling time	-0.2389	0.3363	-0.71	0.480
Holding time*Holding time	-0.2139	0.3363	-0.636	0.527
Holding Pres.*Holding Pres	0.6778	0.3363	2.015	0.048
Bar Temp.*Cooling time	0.525	0.3883	1.352	0.181
Bar Temp.*Holding time	-0.4583	0.3883	-1.18	0.242
Bar Temp.*Holding Pres.	-0.6417	0.3883	-1.652	0.103
Cooling time*Holding time	-0.2833	0.3883	-0.73	0.468
Cooling time*Holding Pres.	-0.0667	0.3883	-0.172	0.864
Holding time*Holding Pres	-0.2667	0.3883	-0.687	0.495

S = 1.345 R-Sq = 94.3% R-Sq(adj) = 93.1%

Analysis of Variance for Cav_C						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	14	1983.71	1983.71	141.694	78.31	0
Linear	4	1957.62	1957.62	489.405	270.47	0
Square	4	13.45	13.45	3.363	1.86	0.128
Interaction	6	12.64	12.64	2.107	1.16	0.336
Residual	Error	66	119.42	119.42	1.809	
Lack-of-Fit	10	23.15	23.15	2.315	1.35	0.229
Pure	Error	56	96.28	96.28	1.719	
Total	80	2103.13				

ภาพที่ 5.5 การทดสอบการกระจายของข้อมูลและความเป็นอิสระของข้อมูลของคาวิตี (cavity) C



หมายเหตุ จากภาพที่ 5.5 พิจารณาจากการทดสอบการกระจายของข้อมูลของคาวิตี (cavity) C พบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวเป็นแบบปกติและลักษณะการกระจายตัวเป็นแบบอิสระไม่มีภาพแบบและไม่ขึ้นตรงต่อกัน ซึ่งข้อมูลดังกล่าวส่งผลให้แบบจำลองมีความน่าเชื่อถือ

- ปัจจัยที่มีอิทธิพลส่งผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของคาวิตี (cavity) D มีทั้งหมด 3 ปัจจัยหลักคือเวลาในการหล่อเย็น (Cooling Time) เวลาในการอัดยี้ (Holding Time) และแรงอัดยี้ (Holding Pressure) โดยที่ปัจจัยทั้ง 3 ให้ค่า p-Value ที่ต่ำกว่า 0.05 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าทั้ง 3 ปัจจัยนี้ส่งผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอย่างมีนัยสำคัญภายใต้ความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซ็นต์ (95% Confidence Interval) ในขณะที่เดียวกันไม่มีปัจจัยใดๆ ที่เป็นอิทธิพลร่วม (Interactions) ที่ส่งผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของคาวิตี (cavity) D โดยผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนดังแสดงในตารางที่ 5.21

ตารางที่ 5.21 การวิเคราะห์ความแปรปรวนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของคาวิตี (cavity) D

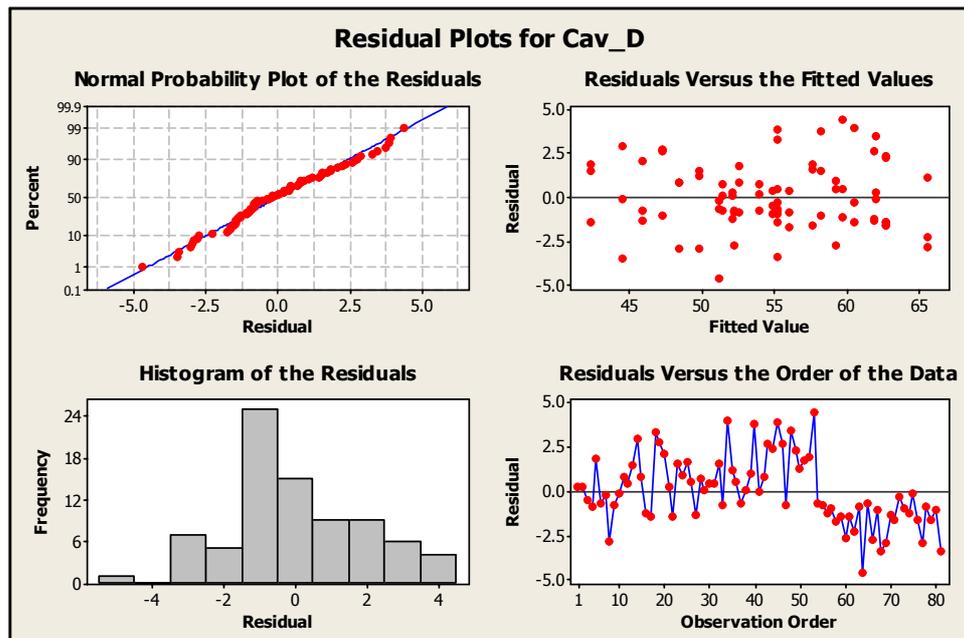
Cavity_D				
Response Surface Regression: Cav_D versus Bar Temp., Cooling time, ...				
Estimated Regression Coefficients for Cav_D				
Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	55.2222	0.7	78.886	0.000
Bar Temp.	-0.1806	0.35	-0.516	0.608
Cooling time	1.1917	0.35	3.405	0.001
Holding time	3.7194	0.35	10.627	0.000
Holding Pres.	7.8917	0.35	22.547	0.000
Bar Temp.*Bar Temp.	-0.4292	0.525	-0.817	0.417
Cooling time*Cooling time	-0.5208	0.525	-0.992	0.325
Holding time*Holding time	0.2458	0.525	0.468	0.641
Holding Pres.*Holding Pres	-0.2792	0.525	-0.532	0.597
Bar Temp.*Cooling time	0.7333	0.6062	1.21	0.231
Bar Temp.*Holding time	-0.325	0.6062	-0.536	0.594
Bar Temp.*Holding Pres.	0.5333	0.6062	0.88	0.382
Cooling time*Holding time	-0.15	0.6062	-0.247	0.805
Cooling time*Holding Pres	-0.7583	0.6062	-1.251	0.215
Holding time*Holding Pres	-1.2167	0.6062	-2.007	0.049

S = 2.100 R-Sq = 90.7% R-Sq(adj) = 88.7%

Analysis of Variance for Cav_D

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	14	2838.8	2838.8	202.772	45.98	0
Linear	4	2792.35	2792.35	698.088	158.29	0
Square	4	10.38	10.38	2.596	0.59	0.672
Interaction	6	36.07	36.07	6.011	1.36	0.243
Residual Error	66	291.08	291.08	4.41		
Lack-of-Fit	10	52.04	52.04	5.204	1.22	0.299
Pure Error	56	239.04	239.04	4.269		
Total	80	3129.88				

ภาพที่ 5.6 การทดสอบการกระจายของข้อมูลและความเป็นอิสระของข้อมูลของ คาวิตี (cavity) D



หมายเหตุ จากภาพที่ 5.6 พิจารณาจากการทดสอบการกระจายของข้อมูลพบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวเป็นแบบปกติและลักษณะการกระจายตัวเป็นแบบอิสระไม่มีภาพแบบและไม่ขึ้นตรงต่อกัน ซึ่งข้อมูลดังกล่าวส่งผลให้แบบจำลองมีความน่าเชื่อถือ

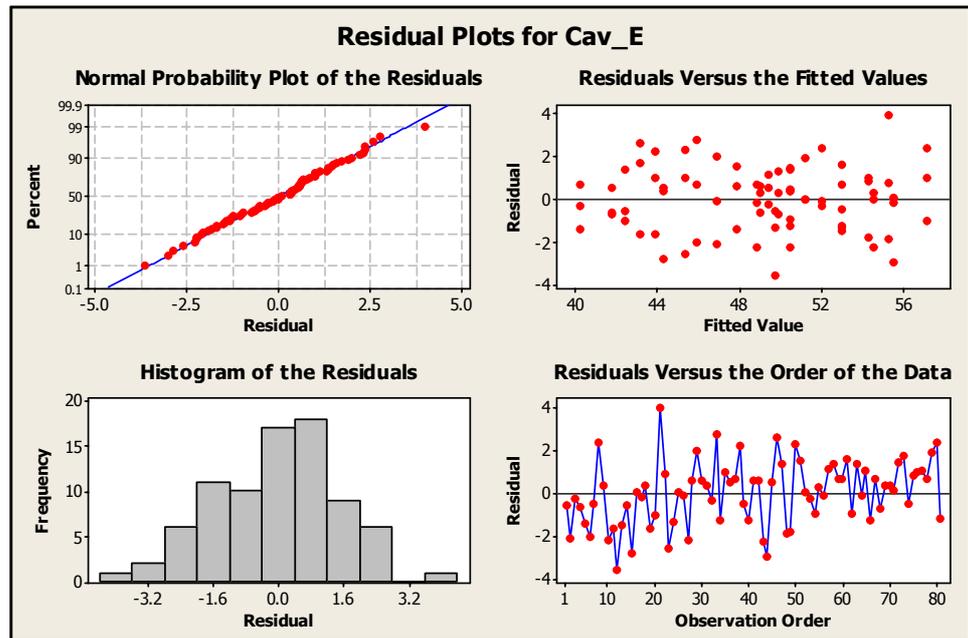
5.2.4.2 การวิเคราะห์ผลการทดลองของคลัสเตอร์ (cluster) ที่ 2 ซึ่งประกอบด้วย คาวิตี (cavity) E, F, G และ H

- ปัจจัยที่มีอิทธิพลส่งผลกระทบต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของคาวิตี (cavity) E มีปัจจัยหลัก 3 ปัจจัยด้วยกันกล่าวคือ เวลาในการหล่อเย็น (Cooling Time) เวลาในการอัดย៉ำ (Holding Time) และแรงดันอัดย៉ำ (Holding Pressure) และยังมีอิทธิพลร่วมของ ปัจจัยอุณหภูมิของกระบอกฉีด (Barrel Temperature) และเวลาในการอัดย៉ำ (Holding Time) ที่ส่งผลกระทบต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ คาวิตี (cavity) E โดยที่รายละเอียดผลวิเคราะห์ความแปรปรวนดังแสดงในตารางที่ 5.22

ตารางที่ 5.22 การวิเคราะห์ความแปรปรวนเส้นผ่านศูนย์กลางของคาวิตี (cavity) E

Cavity_E						
Response Surface Regression: Cav_E versus Bar Temp., Cooling time, ...						
Estimated Regression Coefficients for Cav_E						
Term	Coef	SE Coef	T	P		
Constant	50.4444	0.5483	91.997	0.000		
Bar Temp.	-0.4167	0.2742	-1.52	0.133		
Cooling time	0.8583	0.2742	3.131	0.003		
Holding time	2.5056	0.2742	9.139	0.000		
Holding Pres.	6.0306	0.2742	21.996	0.000		
Bar Temp.*Bar Temp.	-0.9306	0.4112	-2.263	0.027		
Cooling time*Cooling time	-0.7014	0.4112	-1.706	0.093		
Holding time*Holding time	-0.6472	0.4112	-1.574	0.120		
Holding Pres.*Holding Pres	-0.7264	0.4112	-1.766	0.082		
Bar Temp.*Cooling time	0.6333	0.4749	1.334	0.187		
Bar Temp.*Holding time	2.0667	0.4749	4.352	0.000		
Bar Temp.*Holding Pres.	-0.0833	0.4749	-0.175	0.861		
Cooling time*Holding time	-0.4417	0.4749	-0.93	0.356		
Cooling time*Holding Pres.	-0.4	0.4749	-0.842	0.403		
Holding time*Holding Pres	-0.3917	0.4749	-0.825	0.412		
S = 1.645 R-Sq = 90.2% R-Sq(adj) = 88.2%						
Analysis of Variance for Cav_E						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	14	1649.43	1649.43	117.817	43.54	0
Linear	4	1568.01	1568.01	392.002	144.87	0
Square	4	19.17	19.17	4.793	1.77	0.145
Interaction	6	62.25	62.25	10.375	3.83	0.002
Residual Error	66	178.59	178.59	2.706		
Lack-of-Fit	10	31.16	31.16	3.116	1.18	0.321
Pure Error	56	147.43	147.43	2.633		
Total	80	1828.02				

ภาพที่ 5.7 การทดสอบการกระจายของข้อมูลและความเป็นอิสระของข้อมูลของคาวิตี (cavity) E



หมายเหตุ จากภาพที่ 5.7 พิจารณาจากการทดสอบการกระจายของข้อมูลพบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวเป็นแบบปกติและลักษณะการกระจายตัวเป็นแบบอิสระไม่มีภาพแบบและไม่มีขึ้นตรงต่อกัน ซึ่งข้อมูลดังกล่าวส่งผลให้แบบจำลองมีความน่าเชื่อถือ

- ปัจจัยที่มีอิทธิพลส่งผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของคาวิตี (cavity) F มี 2 ปัจจัยหลัก คือ เวลาในการอัดย้า (Holding Time) และแรงดันอัดย้า (Holding Pressure) โดยมีอิทธิพลร่วมของปัจจัยอุณหภูมิของกระบอกฉีด (Barrel Temperature) และเวลาในการอัดย้า (Holding Time) โดยค่า p-Value ของปัจจัยที่มีอิทธิพลหลักและปัจจัยที่เป็นอิทธิพลร่วมทั้งหมดมีค่าอยู่ในระดับต่ำกว่า 0.05 ซึ่งรายละเอียดผลวิเคราะห์ความแปรปรวนดังแสดงในตารางที่ 5.23

ตารางที่ 5.23 การวิเคราะห์ความแปรปรวนเส้นผ่านศูนย์กลางของคาวิตี (cavity) F

Cavity_F
 Response Surface Regression: Cav_F versus Bar Temp., Cooling time, ...
 Estimated Regression Coefficients for Cav_F

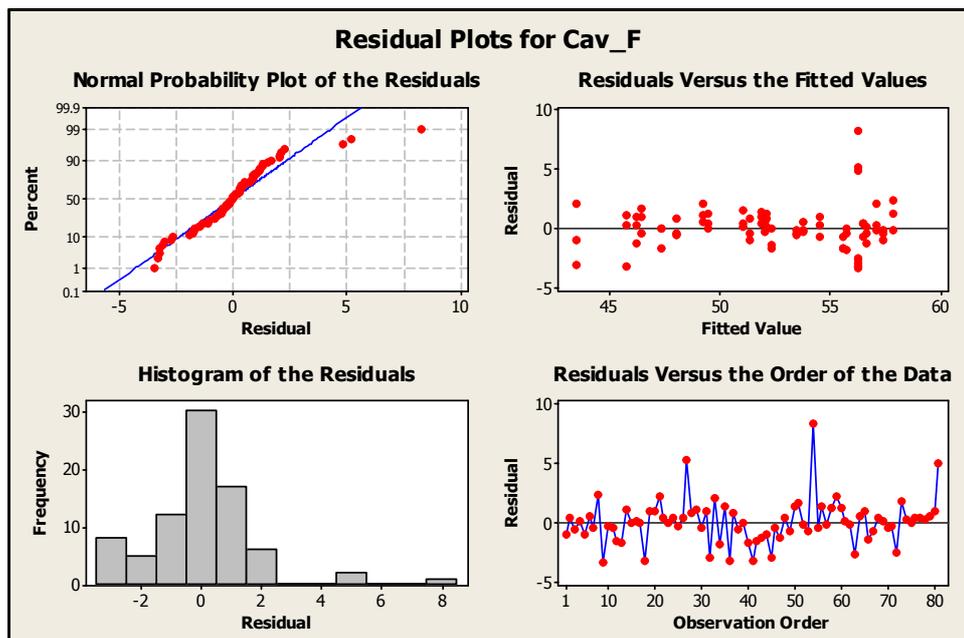
Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	56.3222	0.6681	84.306	0.000
Bar Temp.	-0.2083	0.334	-0.624	0.535
Cooling time	0.5833	0.334	1.746	0.085
Holding time	1.9528	0.334	5.846	0.000
Holding Pres.	5.2167	0.334	15.617	0.000
Bar Temp.*Bar Temp.	-2.1611	0.5011	-4.313	0.000
Cooling time*Cooling time	-1.9486	0.5011	-3.889	0.000
Holding time*Holding time	-2.1361	0.5011	-4.263	0.000
Holding Pres.*Holding Pres	-2.5569	0.5011	-5.103	0.000
Bar Temp.*Cooling time	-0.4583	0.5786	-0.792	0.431
Bar Temp.*Holding time	1.8167	0.5786	3.14	0.003
Bar Temp.*Holding Pres.	-0.0833	0.5786	-0.144	0.886
Cooling time*Holding time	-0.1833	0.5786	-0.317	0.752
Cooling time*Holding Pres.	-0.1917	0.5786	-0.331	0.741
Holding time*Holding Pres	-0.8917	0.5786	-1.541	0.128

S = 2.004 R-Sq = 83.5% R-Sq(adj) = 80.0%

Analysis of Variance for Cav_F

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	14	1343.06	1343.06	95.933	23.88	0
Linear	4	1130.78	1130.78	282.696	70.38	0
Square	4	159.69	159.69	39.922	9.94	0
Interaction	6	52.59	52.59	8.765	2.18	0.056
Residual Error	66	265.11	265.11	4.017		
Lack-of-Fit	10	35.75	35.75	3.575	0.87	0.563
Pure Error	56	229.36	229.36	4.096		
Total	80	1608.17				

ภาพที่ 5.8 การทดสอบการกระจายของข้อมูลและความเป็นอิสระของข้อมูลของคาวิตี (cavity) F



หมายเหตุ จากภาพที่ 5.8 พิจารณาจากการทดสอบการกระจายของข้อมูลพบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวเป็นแบบปกติและลักษณะการกระจายตัวเป็นแบบอิสระไม่มีภาพแบบและไม่ขึ้นตรงต่อกัน ซึ่งข้อมูลดังกล่าวส่งผลให้แบบจำลองมีความน่าเชื่อถือ

- ปัจจัยที่มีอิทธิพลส่งผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของคาวิตี (cavity) G มีปัจจัยหลัก 3 ปัจจัยด้วยกันกล่าวคือ เวลาในการหล่อเย็น (Cooling Time) เวลาในการอัดยี้ (Holding Time) และแรงดันอัดยี้ (Holding Pressure) ซึ่งปัจจัยทั้ง 3 ให้ค่า p-Value ต่ำกว่า 0.05 ในขณะที่ไม่มีอิทธิพลร่วมของปัจจัยใดๆ เลยที่ส่งผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของคาวิตี (cavity) G โดยที่รายละเอียดผลวิเคราะห์ความแปรปรวนดังแสดงในตารางที่ 5.24

ตารางที่ 5.24 การวิเคราะห์ความแปรปรวนเส้นผ่านศูนย์กลางของคาวิตี (cavity) G

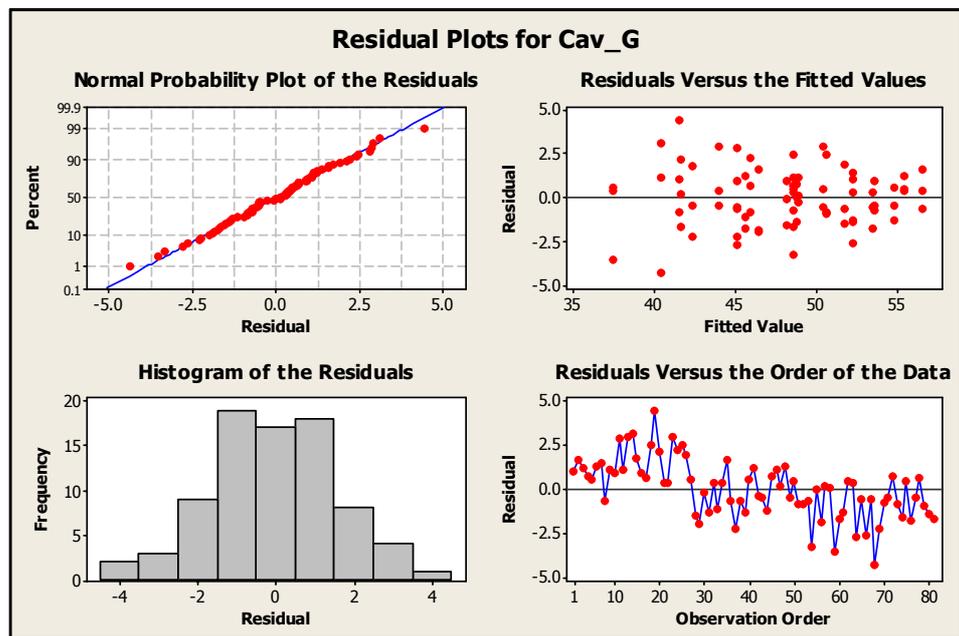
Cavity_G				
Response Surface Regression: Cav_G versus Bar Temp., Cooling time, ...				
Estimated Regression Coefficients for Cav_G				
Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	48.6111	0.6001	81.004	0.000
Bar Temp.	-0.4583	0.3001	-1.528	0.131
Cooling time	0.7722	0.3001	2.574	0.012
Holding time	3.1222	0.3001	10.406	0.000
Holding Pres.	6.4472	0.3001	21.487	0.000
Bar Temp.*Bar Temp.	-0.1319	0.4501	-0.293	0.770
Cooling time*Cooling time	-0.3278	0.4501	-0.728	0.469
Holding time*Holding time	-0.1861	0.4501	-0.414	0.681
Holding Pres.*Holding Pres	-0.4319	0.4501	-0.96	0.341
Bar Temp.*Cooling time	0.4167	0.5197	0.802	0.426
Bar Temp.*Holding time	-0.4583	0.5197	-0.882	0.381
Bar Temp.*Holding Pres.	-0.5167	0.5197	-0.994	0.324
Cooling time*Holding time	-0.2167	0.5197	-0.417	0.678
Cooling time*Holding Pres	-0.1667	0.5197	-0.321	0.749
Holding time*Holding Pres	-0.975	0.5197	-1.876	0.065

S = 1.800 R-Sq = 89.9% R-Sq(adj) = 87.7%

Analysis of Variance for Cav_G

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	14	1900.14	1900.14	135.724	41.88	0
Linear	4	1876.37	1876.37	469.092	144.73	0
Square	4	3.66	3.66	0.915	0.28	0.888
Interaction	6	20.11	20.11	3.352	1.03	0.411
Residual Error	66	213.92	213.92	3.241		
Lack-of-Fit	10	33.3	33.3	3.33	1.03	0.429
Pure Error	56	180.62	180.62	3.225		
Total	80	2114.06				

ภาพที่ 5.9 การทดสอบการกระจายของข้อมูลและความเป็นอิสระของข้อมูลของ คาวิตี (cavity) G



หมายเหตุ จากภาพที่ 5.9 พิจารณาจากการทดสอบการกระจายของข้อมูลของ คาวิตี (cavity) G พบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวเป็นแบบปกติและลักษณะการกระจายตัวเป็นแบบอิสระไม่มีภาพแบบและไม่ขึ้นตรงต่อกัน ซึ่งข้อมูลดังกล่าวส่งผลให้แบบจำลองมีความน่าเชื่อถือ

- ปัจจัยที่มีอิทธิพลส่งผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของคาวิตี (cavity) H คือ อุณหภูมิของกระบอกฉีด (Barrel Temperature) โดยค่า p-Value เท่ากับ 0.007, เวลาในการหล่อ (Cooling Time) มีค่า p-Value เท่ากับ 0.044 , เวลาในการอัดย้า (Holding Time) และแรงดันอัดย้า (Holding Pressure) โดยปัจจัยทั้งสองตัวนี้ให้ค่า p-Value เท่ากับ 0.00 และในขณะเดียวกันยังมีอิทธิพลร่วมของปัจจัยอื่นคือ เวลาในการหล่อเย็น (Cooling Time) และแรงดันอัดย้า (Holding Pressure) ที่ส่งผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของคาวิตี (cavity) H โดยที่อิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้ง 2 ตัวนี้ให้ค่า p-Value เท่ากับ 0.013 ดังแสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนในตารางที่ 5.25

ตารางที่ 5.25 การวิเคราะห์ความแปรปรวนเส้นผ่านศูนย์กลางของคาวิตี (cavity) H

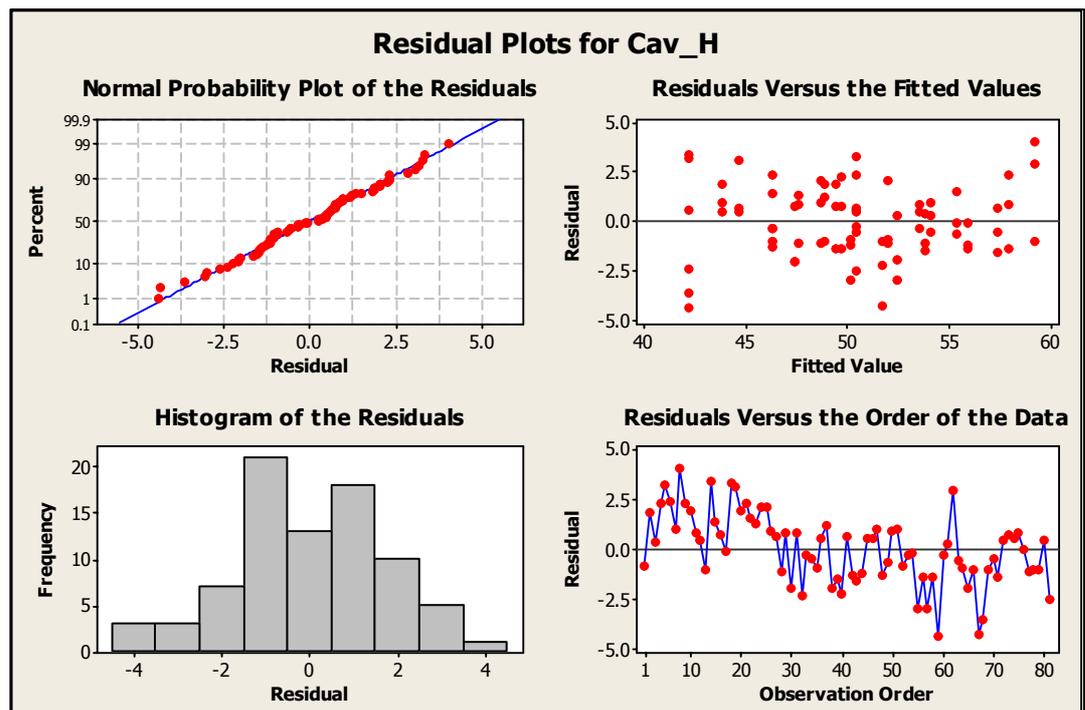
Cavity_H				
Response Surface Regression: Cav_H versus Bar Temp., Cooling time, ...				
Estimated Regression Coefficients for Cav_H				
Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	50.4753	0.212	238.068	0.000
Bar Temp.	-0.8833	0.318	-2.778	0.007
Cooling time	0.6528	0.318	2.053	0.044
Holding time	2.3028	0.318	7.241	0.000
Holding Pres.	6.2	0.318	19.495	0.000
Bar Temp.*Cooling time	-0.5	0.5508	-0.908	0.367
Bar Temp.*Holding time	-0.15	0.5508	-0.272	0.786
Bar Temp.*Holding Pres.	-0.4333	0.5508	-0.787	0.434
Cooling time*Holding time	0.1083	0.5508	0.197	0.845
Cooling time*Holding Pres.	-1.4	0.5508	-2.542	0.013
Holding time*Holding Pres.	0.2333	0.5508	0.424	0.673

S = 1.908 R-Sq = 86.6% R-Sq(adj) = 84.7%

Analysis of Variance for Cav_H

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	10	1648.01	1648.01	164.801	45.26	0
Linear	4	1618.17	1618.17	404.543	111.1	0
Interaction	6	29.84	29.84	4.973	1.37	0.241
Residual Error	70	254.88	254.88	3.641		
Lack-of-Fit	14	79.51	79.51	5.68	1.81	0.059
Pure Error	56	175.37	175.37	3.132		
Total	80	1902.89				

ภาพที่ 5.10 การทดสอบการกระจายของข้อมูลและความเป็นอิสระของข้อมูลของ คาวิตี (cavity) H



หมายเหตุ จากภาพที่ 5.10 พิจารณาจากการทดสอบการกระจายของข้อมูลพบว่าข้อมูลของ คาวิตี (cavity) H มีการกระจายตัวเป็นแบบปกติและลักษณะการกระจายตัวเป็นแบบอิสระไม่มีภาพแบบและไม่ขึ้นตรงต่อกัน ซึ่งข้อมูลดังกล่าวส่งผลให้แบบจำลองมีความน่าเชื่อถือ

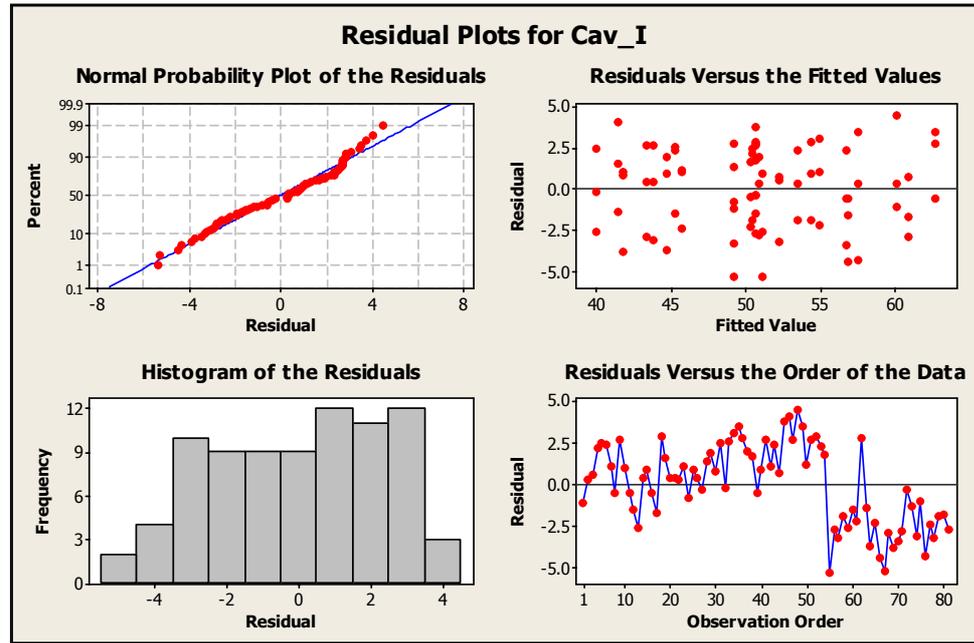
5.2.4.3 การวิเคราะห์ผลการทดลองของคลัสเตอร์ (cluster) ที่ 3 ซึ่งประกอบด้วย คาวิตี (cavity) I, J, K และ L

- ปัจจัยที่มีอิทธิพลส่งผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของคาวิตี (cavity) I มีปัจจัยหลักด้วยกันคือ เวลาในการอัดย้า (Holding Time) และแรงดันอัดย้า (Holding Pressure) และยังมีอิทธิพลร่วมอีก 2 กลุ่มปัจจัยด้วยกันคือ อุณหภูมิของกระบอกฉีด (Barrel Temperature) และเวลาในการอัดย้า (Holding Time) โดยให้ค่า p-Value เท่ากับ 0.00 และยังมีอิทธิพลร่วมอีกส่วนหนึ่งที่ส่งผลคือ เวลาในการหล่อเย็น (Cooling Time) กับแรงดันอัดย้า (Holding Pressure) โดยที่ค่า p-Value เท่ากับ 0.058 โดยที่รายละเอียดผลวิเคราะห์ความแปรปรวนดังแสดงในตารางที่ 5.26

ตารางที่ 5.26 การวิเคราะห์ความแปรปรวนเส้นผ่านศูนย์กลางของ คาวิตี (cavity) I

Cavity_I						
Response Surface Regression: Cav_I versus Bar Temp., Cooling time, ...						
Estimated Regression Coefficients for Cav_I						
Term	Coef	SE Coef	T	P		
Constant	50.7556	0.2875	176.568	0.000		
Bar Temp.	-0.0472	0.4312	-0.11	0.913		
Cooling time	0.675	0.4312	1.565	0.122		
Holding time	3.2361	0.4312	7.505	0.000		
Holding Pres.	8.1194	0.4312	18.831	0.000		
Bar Temp.*Cooling time	-0.8583	0.7468	-1.149	0.254		
Bar Temp.*Holding time	-2.8417	0.7468	-3.805	0.000		
Bar Temp.*Holding Pres.	-1.225	0.7468	-1.64	0.105		
Cooling time*Holding time	-1.0917	0.7468	-1.462	0.148		
Cooling time*Holding Pres.	1.4417	0.7468	1.93	0.058		
Holding time*Holding Pres.	0.625	0.7468	0.837	0.406		
S = 2.587 R-Sq = 86.2% R-Sq(adj) = 84.3%						
Analysis of Variance for Cav_I						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	10	2934.48	2934.48	293.448	43.84	0
Linear	4	2766.8	2766.8	691.701	103.35	0
Interaction	6	167.68	167.68	27.946	4.18	0.001
Residual Error	70	468.52	468.52	6.693		
Lack-of-Fit	14	89.09	89.09	6.364	0.94	0.524
Pure Error	56	379.43	379.43	6.775		
Total	80	3403				

ภาพที่ 5.11 การทดสอบการกระจายของข้อมูลและความเป็นอิสระของข้อมูลของคาวิตี (cavity) I



หมายเหตุ จากภาพที่ 5.11 พิจารณาจากการทดสอบการกระจายของข้อมูลพบว่าข้อมูลของ คาวิตี (cavity) I มีการกระจายตัวเป็นแบบปกติและลักษณะการกระจายตัวเป็นแบบอิสระไม่มีภาพแบบและไม่ขึ้นตรงต่อกัน ซึ่งข้อมูลดังกล่าวส่งผลให้แบบจำลองมีความน่าเชื่อถือ

- ปัจจัยที่มีอิทธิพลส่งผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของคาวิตี (cavity) J มี 2 ปัจจัยหลักคือ เวลาในการอัดยี้ (Holding Time) และแรงดันอัดยี้ (Holding Pressure) โดยปัจจัยทั้ง 2 ให้ค่า p-Value เท่ากับ 0.00 และคาวิตี (cavity) J ยังมีอิทธิพลร่วมที่ส่งผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 2 ปัจจัยด้วยกันคือ อุณหภูมิของกระบอกฉีด (Barrel Temperature) และเวลาในการอัดยี้ (Holding Time) ซึ่งมีค่า p-Value เท่ากับ 0.00 โดยที่รายละเอียดผลวิเคราะห์ความแปรปรวนดังแสดงในตารางที่ 5.27

ตารางที่ 5.27 การวิเคราะห์ความแปรปรวนเส้นผ่านศูนย์กลางของคาวิตี (cavity) J

Cavity_J
 Response Surface Regression: Cav_J versus Bar Temp., Cooling time, ...
 Estimated Regression Coefficients for Cav_J

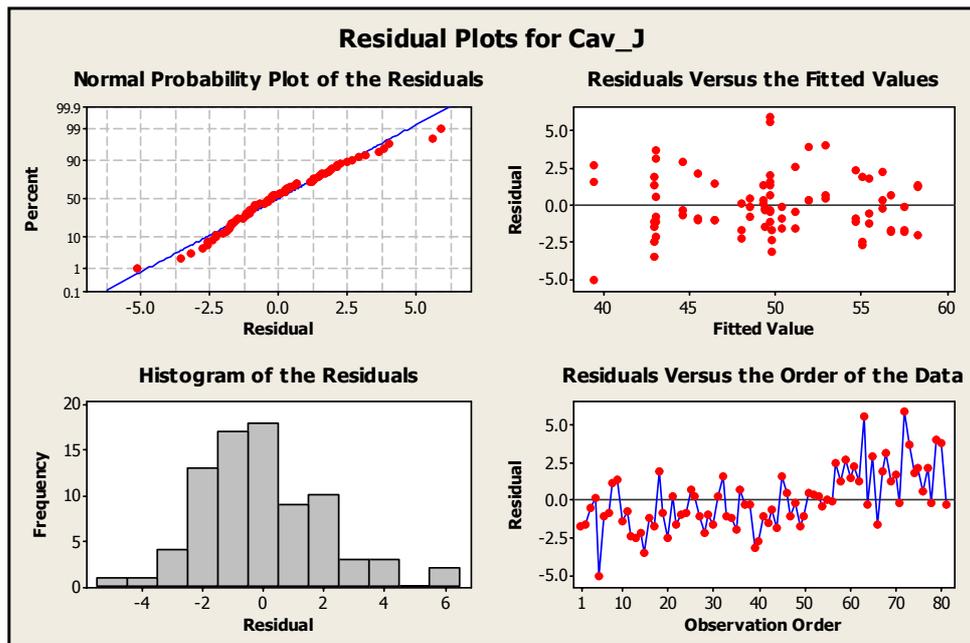
Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	49.7556	0.2393	207.963	0.000
Bar Temp.	0.1222	0.3589	0.341	0.734
Cooling time	0.5056	0.3589	1.409	0.163
Holding time	2.6861	0.3589	7.485	0.000
Holding Pres.	6.7639	0.3589	18.847	0.000
Bar Temp.*Cooling time	-1.0667	0.6216	-1.716	0.091
Bar Temp.*Holding time	2.5167	0.6216	4.049	0.000
Bar Temp.*Holding Pres.	0.1667	0.6216	0.268	0.789
Cooling time*Holding time	-1	0.6216	-1.609	0.112
Cooling time*Holding Pres.	0.55	0.6216	0.885	0.379
Holding time*Holding Pres.	-0.875	0.6216	-1.408	0.164

S = 2.153 R-Sq = 86.2% R-Sq(adj) = 84.3%

Analysis of Variance for Cav_J

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	10	2031.3	2031.3	203.13	43.81	0
Linear	4	1916.49	1916.49	479.123	103.34	0
Interaction	6	114.81	114.81	19.135	4.13	0.001
Residual Error	70	324.56	324.56	4.637		
Lack-of-Fit	14	92.93	92.93	6.638	1.6	0.107
Pure Error	56	231.63	231.63	4.136		
Total	80	2355.86				

ภาพที่ 5.12 การทดสอบการกระจายของข้อมูลและความเป็นอิสระของข้อมูลของคาวิตี (cavity) J



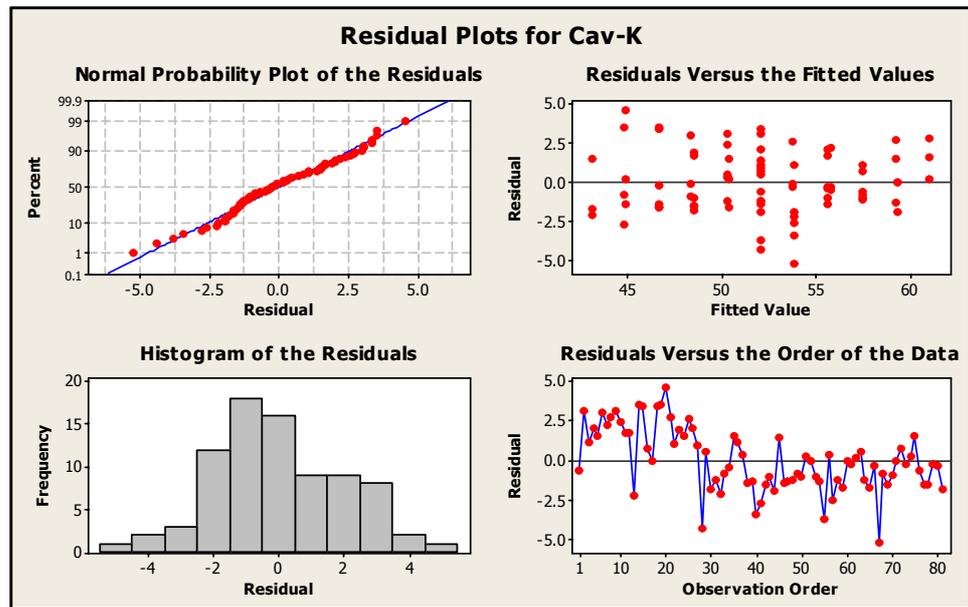
หมายเหตุ จากภาพที่ 5.12 พิจารณาจากการทดสอบการกระจายของข้อมูลพบว่าข้อมูลของ คาวิตี (cavity) J มีการกระจายตัวเป็นแบบปกติและลักษณะการกระจายตัวเป็นแบบอิสระไม่มีภาพแบบและไม่ขึ้นตรงต่อกัน ซึ่งข้อมูลดังกล่าวส่งผลให้แบบจำลองมีความน่าเชื่อถือ

- ปัจจัยที่มีอิทธิพลส่งผลกระทบต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของคาวิตี (cavity) K นั้นมีทั้งหมด 4 ปัจจัยกล่าวคือปัจจัยทุกปัจจัยที่ได้นำมาทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมล้วนแต่ส่งผลกระทบต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของคาวิตี (cavity) K อย่างมีนัยสำคัญ โดยปัจจัยทั้ง 4 ปัจจัยล้วนให้ค่า p-Value ที่ต่ำกว่า 0.05 ทั้งหมด ซึ่งผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนดังแสดงในตารางที่ 5.28 และขณะเดียวกันไม่มีอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยใดๆ เลยที่ส่งผลกระทบต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ คาวิตี (cavity) K

ตารางที่ 5.28 การวิเคราะห์ความแปรปรวนเส้นผ่านศูนย์กลางของคาวิตี (cavity) K

Cavity_K						
Response Surface Regression: Cav-K versus Bar Temp., Cooling time, ...						
Estimated Regression Coefficients for Cav-K						
Term	Coef	SE Coef	T	P		
Constant	52.1025	0.226	230.578	0.000		
Bar Temp.	-0.8806	0.3389	-2.598	0.011		
Cooling time	0.9194	0.3389	2.713	0.008		
Holding time	2.6194	0.3389	7.728	0.000		
Holding Pres.	6.3194	0.3389	18.644	0.000		
S = 2.034 R-Sq = 84.7% R-Sq(adj) = 83.9%						
Analysis of Variance for Cav_K						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	4	1743	1743	435.759	105.36	0
Linear	4	1743	1743	435.759	105.36	0
Residual Error	76	314.3	314.3	4.136		
Lack-of-Fit	20	105.2	105.2	5.258	1.41	0.158
Pure Error	56	209.2	209.2	3.735		
Total	80	2057.4				

ภาพที่ 5.13 การทดสอบการกระจายของข้อมูลและความเป็นอิสระของข้อมูลของคาวิตี (cavity) K



หมายเหตุ จากภาพที่ 5.13 พิจารณาจากการทดสอบการกระจายของข้อมูลพบว่าข้อมูลของ คาวิตี (cavity) K มีการกระจายตัวเป็นแบบปกติและลักษณะการกระจายตัวเป็นแบบอิสระไม่มีภาพแบบและไม่ขึ้นตรงต่อกัน ซึ่งข้อมูลดังกล่าวส่งผลให้แบบจำลองมีความน่าเชื่อถือ

- ปัจจัยที่มีอิทธิพลส่งผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของคาวิตี (cavity) L ประกอบด้วย 3 ปัจจัยหลักและ 2 กลุ่มปัจจัยที่มีอิทธิพลร่วม กล่าวคือ อุณหภูมิของกระบอกฉีด (Barrel Temperature) เวลาในการอัดย้า (Holding Time) และแรงดันอัดย้า (Holding Pressure) ปัจจัยหลักทั้ง 3 ปัจจัยนี้ล้วนแต่ให้ค่า p-Value ที่มีระดับที่ต่ำกว่า 0.05 ทั้งหมด ในขณะที่เดียวกันยังมีปัจจัยที่มีอิทธิพลร่วมอีก 2 ส่วนด้วยกันคือ อิทธิพลร่วมระหว่าง อุณหภูมิของกระบอกฉีด (Barrel Temperature) กับเวลาในการหล่อเย็น (Cooling Time) โดยที่ค่า p-Value เท่ากับ 0.001 และ อิทธิพลร่วมระหว่าง เวลาในการหล่อเย็น (Cooling Time) กับแรงดันอัดย้า (Holding Pressure) โดยที่รายละเอียดผลวิเคราะห์ความแปรปรวนดังแสดงในตารางที่ 5.29

ตารางที่ 5.29 การวิเคราะห์ความแปรปรวนเส้นผ่านศูนย์กลางของคาวิตี (cavity) L

Cavity_L
 Response Surface Regression: Cav_L versus Bar Temp., Cooling time, ...
 Estimated Regression Coefficients for Cav_L

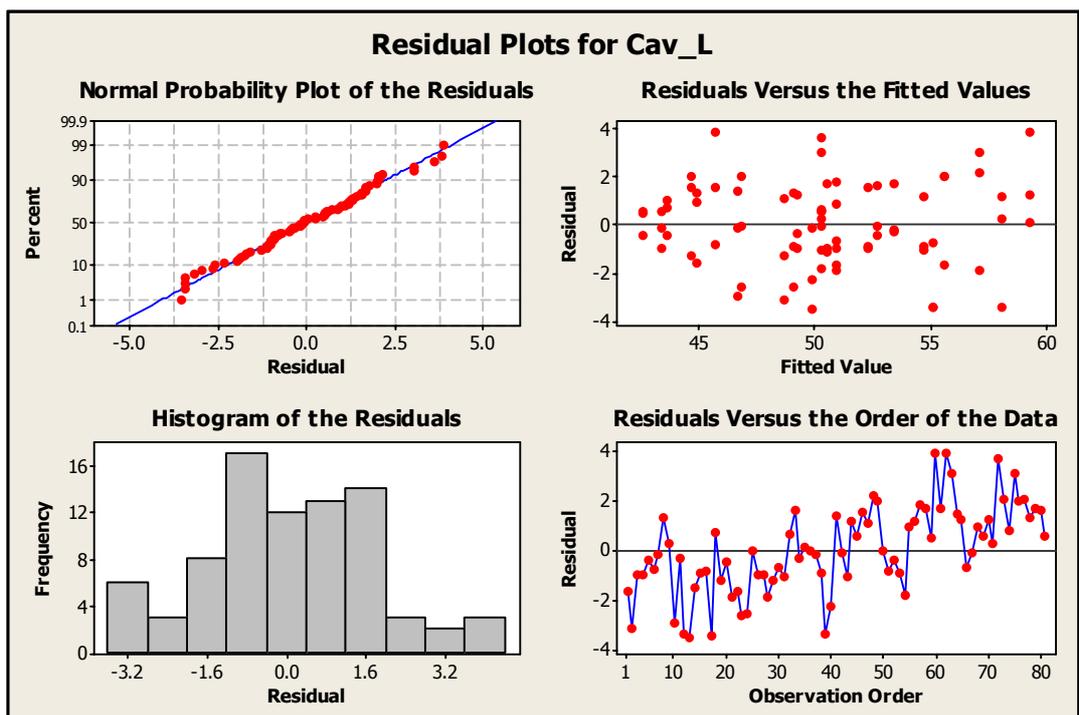
Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	50.2481	0.2065	243.367	0.000
Bar Temp.	-0.6528	0.3097	-2.108	0.039
Cooling time	0.4611	0.3097	1.489	0.141
Holding time	2.2778	0.3097	7.355	0.000
Holding Pres.	6.1306	0.3097	19.795	0.000
Bar Temp.*Cooling time	0.4667	0.5364	0.87	0.387
Bar Temp.*Holding time	-1.95	0.5364	-3.635	0.001
Bar Temp.*Holding Pres.	-0.1083	0.5364	-0.202	0.841
Cooling time*Holding time	-0.6667	0.5364	-1.243	0.218
Cooling time*Holding Pres.	1.2167	0.5364	2.268	0.026
Holding time*Holding Pres.	0.6833	0.5364	1.274	0.207

S = 1.858 R-Sq = 87.2% R-Sq(adj) = 85.3%

Analysis of Variance for Cav_L

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	10	1639.87	1639.87	163.987	47.49	0
Linear	4	1562.79	1562.79	390.697	113.15	0
Interaction	6	77.08	77.08	12.847	3.72	0.003
Residual Error	70	241.71	241.71	3.453		
Lack-of-Fit	14	70.47	70.47	5.034	1.65	0.095
Pure Error	56	171.24	171.24	3.058		
Total	80	1881.58				

ภาพที่ 5.14 การทดสอบการกระจายของข้อมูลและความเป็นอิสระของข้อมูลของคาวิตี (cavity) L



หมายเหตุ จากภาพที่ 5.14 พิจารณาจากการทดสอบการกระจายของข้อมูลพบว่าข้อมูลของ คาวิตี (cavity) L มีการกระจายตัวเป็นแบบปกติและลักษณะการกระจายตัวเป็นแบบอิสระไม่มีภาพแบบและไม่ขึ้นตรงต่อกัน ซึ่งข้อมูลดังกล่าวส่งผลให้แบบจำลองมีความน่าเชื่อถือ

5.2.4.4 การวิเคราะห์ผลการทดลองของคลัสเตอร์ (cluster) ที่ 4 ซึ่งประกอบด้วย คาวิตี (cavity) M, N, O และ P

- ปัจจัยที่มีอิทธิพลส่งผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ คาวิตี (cavity) M มีด้วยกัน 3 ปัจจัยหลักคือ อุณหภูมิของกระบอกฉีด (Barrel Temperature) โดยมีค่า p-Value เท่ากับ 0.044, เวลาในการอัดย้า (Holding Time) และแรงดันอัดย้า (Holding Pressure) โดยทั้ง 2 ปัจจัยหลังนี้ให้ค่า p-Value เท่ากับ 0.00 ขณะเดียวกันยังมีอิทธิพลร่วม อุณหภูมิของกระบอกฉีด (Barrel Temperature) และเวลาในการอัดย้า (Holding Time) ส่งผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ คาวิตี (cavity) M ด้วยซึ่งให้ค่า p-Value เท่ากับ 0.002 โดยที่รายละเอียดผลวิเคราะห์ความแปรปรวนดังแสดงในตารางที่ 5.30

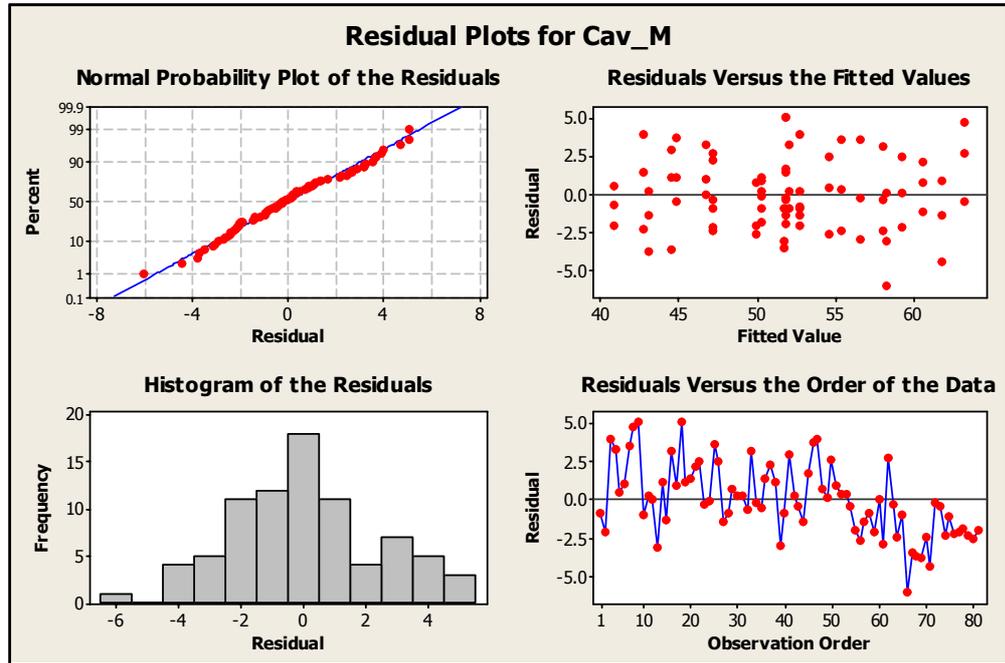
ตารางที่ 5.30 การวิเคราะห์ความแปรปรวนเส้นผ่านศูนย์กลางของคาวิตี (cavity) M

Cavity_M				
Response Surface Regression: Cav_M versus Bar Temp., Cooling time, ...				
Estimated Regression Coefficients for Cav_M				
Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	51.8988	0.2796	185.647	0.000
Bar Temp.	-0.8611	0.4193	-2.054	0.044
Cooling time	0.55	0.4193	1.312	0.194
Holding time	3.1361	0.4193	7.479	0.000
Holding Pres.	8.0694	0.4193	19.243	0.000
Bar Temp.*Cooling time	0.5167	0.7263	0.711	0.479
Bar Temp.*Holding time	-2.3667	0.7263	-3.258	0.002
Bar Temp.*Holding Pres.	0.1833	0.7263	0.252	0.801
Cooling time*Holding time	-0.9833	0.7263	-1.354	0.180
Cooling time*Holding Pres.	1.3	0.7263	1.79	0.078
Holding time*Holding Pres.	0.1917	0.7263	0.264	0.793

S = 2.516 R-Sq = 86.5% R-Sq(adj) = 84.6%

Analysis of Variance for Cav_M						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	10	2839	2839	283.897	44.85	0
Linear	4	2735.8	2735.8	683.956	108.04	0
Interaction	6	103.1	103.1	17.191	2.72	0.02
Residual Error	70	443.1	443.1	6.33		
Lack-of-Fit	14	123	123	8.783	1.54	0.128
Pure Error	56	320.2	320.2	5.717		
Total	80	3282.1				

ภาพที่ 5.15 การทดสอบการกระจายของข้อมูลและความเป็นอิสระของข้อมูลของคาวิตี (cavity) M



หมายเหตุ จากภาพที่ 5.15 พิจารณาจากการทดสอบการกระจายของข้อมูลพบว่าข้อมูลของคาวิตี (cavity) M มีการกระจายตัวเป็นแบบปกติและลักษณะการกระจายตัวเป็นแบบอิสระไม่มีภาพแบบและไม่ขึ้นตรงต่อกัน ซึ่งข้อมูลดังกล่าวส่งผลให้แบบจำลองมีความน่าเชื่อถือ

- ปัจจัยที่มีอิทธิพลส่งผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของคาวิตี (cavity) N มีด้วยกันทั้งหมด 3 ปัจจัยหลักคือ อุณหภูมิของกระบอกฉีด (Barrel Temperature) เวลาในการอัดย้า (Holding Time) และแรงดันอัดย้า (Holding Pressure) โดยทั้ง 3 ปัจจัยให้ค่า p-Value ที่มีระดับต่ำกว่า 0.05 และไม่มีอิทธิพลร่วมใดๆ ส่งผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ คาวิตี (cavity) H โดยที่รายละเอียดผลวิเคราะห์ความแปรปรวนดังแสดงในตารางที่ 5.31

ตารางที่ 5.31 การวิเคราะห์ที่ความแปรปรวนเส้นผ่านศูนย์กลางของคาวิตี (cavity) N

Cavity_N
 Response Surface Regression: Cav_N versus Bar Temp., Cooling time, ...
 Estimated Regression Coefficients for Cav_N

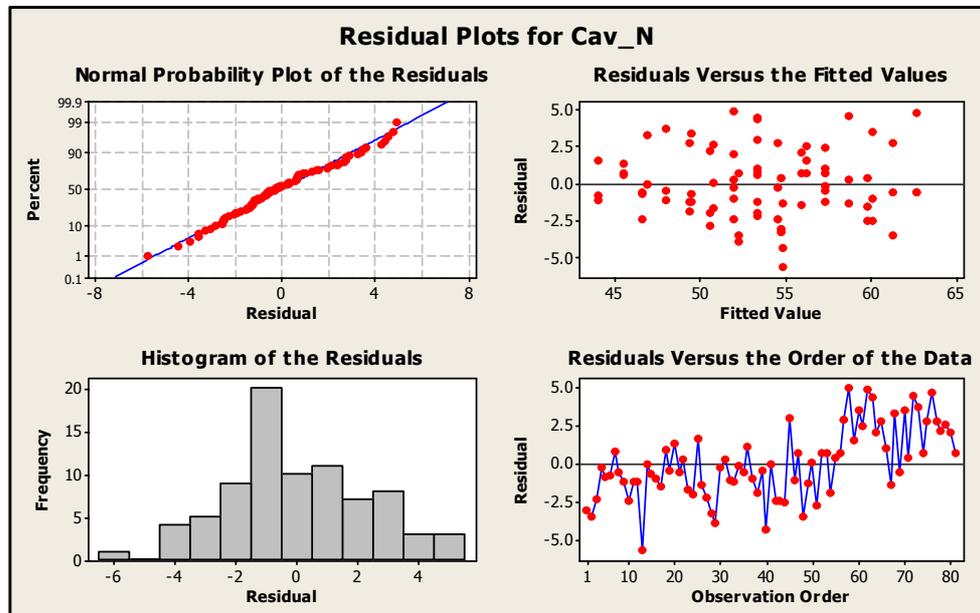
Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	53.3815	0.2631	202.908	0.000
Bar Temp.	-1.2639	0.3946	-3.203	0.002
Cooling time	-0.1333	0.3946	-0.338	0.736
Holding time	2.6972	0.3946	6.835	0.000
Holding Pres.	6.6111	0.3946	16.753	0.000

S = 2.368 R-Sq = 81.6% R-Sq(adj) = 80.7%

Analysis of Variance for Cav_N

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	4	1893.5	1893.5	473.373	84.44	0
Linear	4	1893.5	1893.5	473.373	84.44	0
Residual Error	76	426.1	426.1	5.606		
Lack-of-Fit	20	129.3	129.3	6.467	1.22	0.273
Pure Error	56	296.7	296.7	5.299		
Total	80	2319.6				

ภาพที่ 5.16 การทดสอบการกระจายของข้อมูลและความเป็นอิสระของข้อมูลของคาวิตี (cavity) N



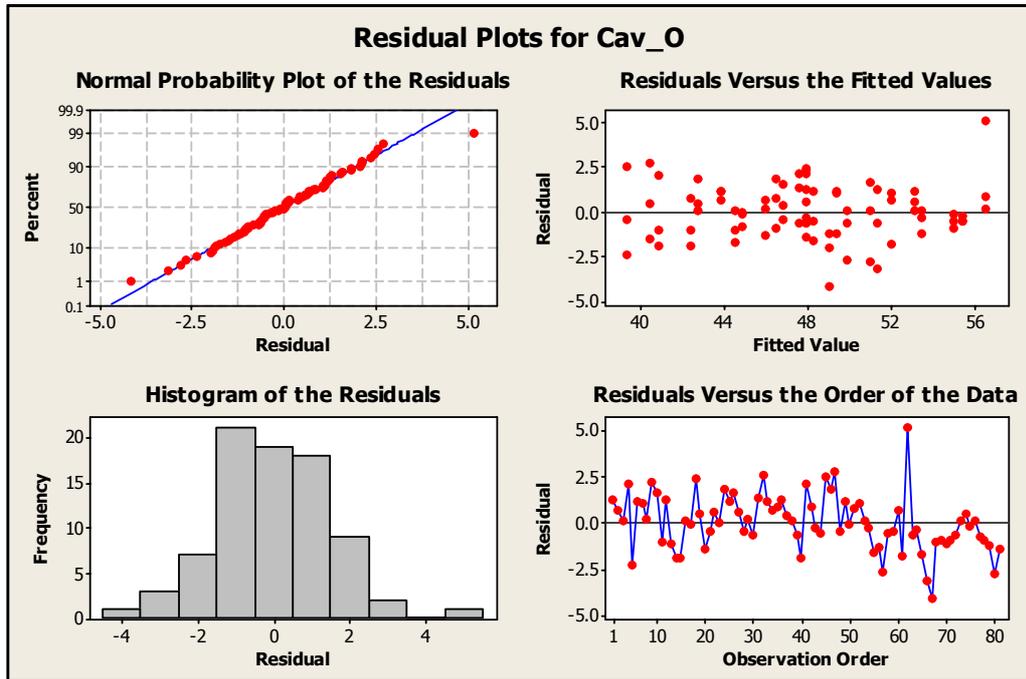
หมายเหตุ จากภาพที่ 5.16 พิจารณาจากการทดสอบการกระจายของข้อมูลพบว่าข้อมูลของคาวิตี (cavity) N มีการกระจายตัวเป็นแบบปกติและลักษณะการกระจายตัวเป็นแบบอิสระไม่มีภาพแบบและไม่ขึ้นตรงต่อกัน ซึ่งข้อมูลดังกล่าวส่งผลให้แบบจำลองมีความน่าเชื่อถือ

- ปัจจัยที่มีอิทธิพลส่งผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ คาวิตี (cavity) O สำหรับ คาวิตี (cavity) O ปัจจัยหลักทั้ง 4 ปัจจัยคือ อุณหภูมิของกระบอกฉีด (Barrel Temperature), เวลาในการหล่อเย็น (Cooling Time) เวลาในการอัดย้า (Holding Time) และแรงดันอัดย้า (Holding Pressure) โดยทั้ง 4 ปัจจัยล้วนแต่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญโดยทั้ง 4 ปัจจัยให้ค่า p-Value ที่มีระดับต่ำกว่า 0.05 และขณะเดียวกันไม่มีอิทธิพลร่วมใดๆ ส่งผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ คาวิตี (cavity) O เลย โดยที่รายละเอียดผลวิเคราะห์ความแปรปรวนดังแสดงในตารางที่ 5.32

ตารางที่ 5.32 การวิเคราะห์ความแปรปรวนเส้นผ่านศูนย์กลางของคาวิตี (cavity) O

Cavity_O						
Response Surface Regression: Cav_O versus Bar Temp., Cooling time, ...						
Estimated Regression Coefficients for Cav_O						
Term	Coef	SE Coef	T	P		
Constant	47.9543	0.1726	277.91	0.000		
Bar Temp.	-1.1417	0.2588	-4.411	0.000		
Cooling time	0.7778	0.2588	3.005	0.004		
Holding time	2.2611	0.2588	8.736	0.000		
Holding Pres.	6.3306	0.2588	24.458	0.000		
S = 1.553 R-Sq = 90.2% R-Sq(adj) = 89.7%						
Analysis of Variance for Cav_O						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	4	1695.49	1695.49	423.872	175.75	0
Linear	4	1695.49	1695.49	423.872	175.75	0
Residual Error	76	183.29	183.29	2.412		
Lack-of-Fit	20	58.48	58.48	2.924	1.31	0.21
Pure Error	56	124.82	124.82	2.229		
Total	80	1878.78				

ภาพที่ 5.17 การทดสอบการกระจายของข้อมูลและความเป็นอิสระของข้อมูลของคาวิตี (cavity) O



หมายเหตุ จากภาพที่ 5.17 พิจารณาจากการทดสอบการกระจายของข้อมูลพบว่าข้อมูลของคาวิตี (cavity) O มีการกระจายตัวเป็นแบบปกติและลักษณะการกระจายตัวเป็นแบบอิสระไม่มีภาพแบบและไม่ขึ้นตรงต่อกัน ซึ่งข้อมูลดังกล่าวส่งผลให้แบบจำลองมีความน่าเชื่อถือ

- ปัจจัยที่มีอิทธิพลส่งผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของคาวิตี (cavity) P พบว่าปัจจัยหลักทั้ง 4 ปัจจัยที่คัดเลือกมาทำการทดลองซึ่งส่งผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ คาวิตี (cavity) P อย่างมีนัยสำคัญ โดยที่ค่า p-Value ของคุณทฤษฎีของกระบวนการอัด (Barrel Temperature), เวลาในการหล่อเย็น (Cooling Time), เวลาในการอัดย่ำ (Holding Time) และแรงดันอัดย่ำ (Holding Pressure) ล้วนแต่ต่ำกว่าระดับ 0.05 ทั้งหมด และไม่มีอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยใดๆ ส่งผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของคาวิตี (cavity) P โดยที่รายละเอียดผลวิเคราะห์ความแปรปรวนดังแสดงในตารางที่ 5.33

ตารางที่ 5.33 การวิเคราะห์ความแปรปรวนเส้นผ่านศูนย์กลางของคาวิตี (cavity) P

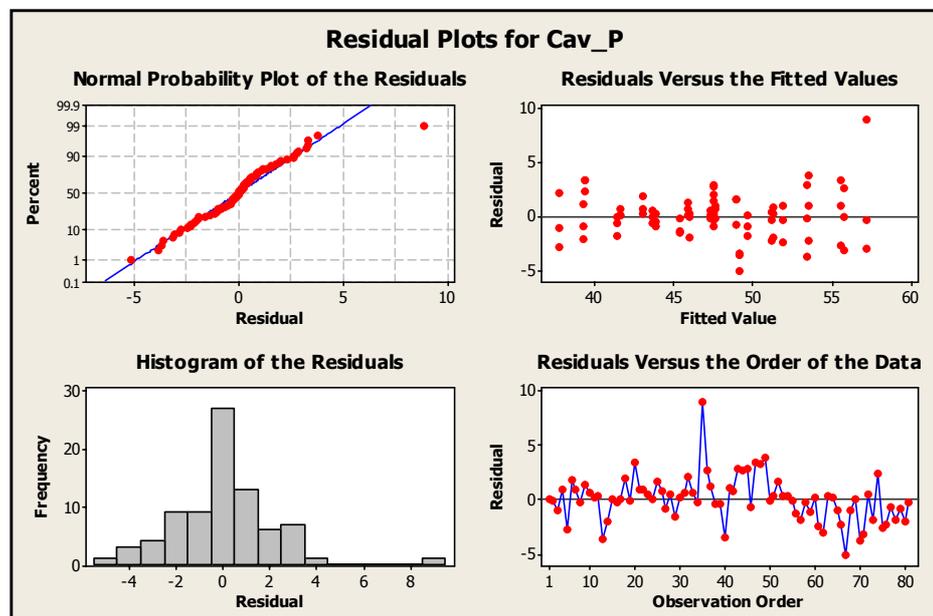
Cavity_P				
Response Surface Regression: Cav_P versus Bar Temp., Cooling time, ...				
Estimated Regression Coefficients for Cav_P				
Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	47.547	0.2356	201.817	0.000
Bar Temp.	-1.008	0.3534	-2.853	0.006
Cooling time	1.158	0.3534	3.278	0.002
Holding time	2.642	0.3534	7.475	0.000
Holding Pres.	7.064	0.3534	19.989	0.000

S = 2.120 R-Sq = 86.2% R-Sq(adj) = 85.5%

Analysis of Variance for Cav_P

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	4	2132.5	2132.5	533.119	118.58	0
Linear	4	2132.5	2132.5	533.119	118.58	0
Residual Error	76	341.7	341.7	4.496		
Lack-of-Fit	20	121.9	121.9	6.095	1.55	0.1
Pure Error	56	219.8	219.8	3.925		
Total	80	2474.2				

ภาพที่ 5.18 การทดสอบการกระจายของข้อมูลและความเป็นอิสระของข้อมูลของคาวิตี (cavity) P



หมายเหตุ จากภาพที่ 5.18 พิจารณาจากการทดสอบการกระจายของข้อมูลพบว่าข้อมูลของคาวิตี (cavity) O มีการกระจายตัวเป็นแบบปกติและลักษณะการกระจายตัวเป็นแบบอิสระไม่มีภาพแบบและไม่ขึ้นตรงต่อกัน ซึ่งข้อมูลดังกล่าวส่งผลให้แบบจำลองมีความน่าเชื่อถือ

5.2.5 ตารางสรุปผลการทดลองเพื่อค้นหาสภาวะที่เหมาะสม

จากผลการทดลองการทดลองเพื่อค้นหาสภาวะที่เหมาะสมปรากฏว่ามีปัจจัยบางปัจจัยที่ส่งผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางในทุก cavity แต่ในขณะเดียวกันมีปัจจัยหลักบางปัจจัยที่ส่งผลเฉพาะต่อบาง cavity เท่านั้น รวมไปถึงบาง cavity ยังมีอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัย 2 ปัจจัย ดังนั้นตารางที่ 5.34 จะเป็นการสรุปปัจจัยหลักและอิทธิพลร่วมของแต่ละปัจจัยที่ส่งผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Hub-C2 ในทุกๆ cavity

ตารางที่ 5.34 แสดงผลกระทบของปัจจัยหลักและอิทธิพลร่วมต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง Hub-C2 ทั้ง 16 cavity

Term. / Cavity.	Cluster-1				Cluster-2				Cluster-3				Cluster-4			
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
Bar Temp.	—	—	—	—	—	—	—	●	—	—	●	●	●	●	●	●
Cooling time	●	●	●	●	●	—	●	●	—	—	●	—	—	—	●	●
Holding time	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Holding Pres.	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Bar Temp.*Cooling time	●	●	—	—	—	—	—	—	—	—	—	●	—	—	—	—
Bar Temp.*Holding time	—	—	—	—	●	●	—	—	●	●	—	—	●	—	—	—
Bar Temp.*Holding Pres.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Cooling time*Holding time	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Cooling time*Holding Pres.	—	—	—	—	—	—	—	●	○	—	—	●	—	—	—	—
Holding time*Holding Pres.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

●	: Significant
○	: Moderate Significant
—	: Not Significant.

จากผลในตารางที่ 5.34 จะเห็นได้ว่ามีปัจจัยหลัก 2 ปัจจัยด้วยกันที่ส่งผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางในทุกๆ cavity คือ เวลาในการอัดย่ำ (Holding time) และแรงดันอัดย่ำ (Holding pressure) และในขณะเดียวกันที่บาง cavity ที่ปัจจัยหลักทุกๆ ปัจจัยส่งผลอย่างมีนัยสำคัญซึ่งได้แก่ cavity H, K, O และ P โดยทั้ง 4 cavity จำเป็นจะต้องมีการตรวจเฝ้าติดตามอย่างใกล้ชิดในระหว่างการผลิต

5.3 การกำหนดสภาวะที่เหมาะสมและเงื่อนไขที่ดีที่สุดในการผลิต Hub-C2

จากผลการทดลองเพื่อค้นหาสภาวะที่เหมาะสมจะเห็นได้ว่าปัจจัยบางปัจจัยส่งผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางในทุกๆ cavity และมีบางปัจจัยส่งผลต่อเฉพาะบาง cavity เท่านั้น ดังนั้น การที่จะให้ได้มาซึ่งเงื่อนไขที่ดีที่สุดในการผลิต Hub-C2 ทั้ง 16 cavity โดยที่ให้เส้นผ่าน

ศูนย์กลางมีขนาดเท่ากันทั้งหมดนั้นอาจจะไม่สามารถทำได้เพราะแต่ละคาวิตี (cavity) มีลักษณะเฉพาะที่แตกต่างกันบ้าง ซึ่งผลการทดลองการค้นหาสภาวะที่เหมาะสมแสดงให้เห็นแสดงว่าในแต่ละคาวิตี (cavity) มีปัจจัยที่ส่งผลที่มีลักษณะที่แตกต่างกัน โดยจะเห็นได้ชัดเจนในคลัสเตอร์ (cluster) ที่ต่างกัน

ดังนั้นการกำหนดเงื่อนไขที่ดีที่สุดจึงได้นำเอาทฤษฎีพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology) มาช่วยในการแก้ไขปัญห โดยวิธีการพื้นผิวตอบสนองสามารถที่จะคำนวณหาเงื่อนไขที่ดีที่สุดได้พร้อมกันในหลายๆ เงื่อนไขของผลตอบสนองกล่าวคือในงานวิจัยฉบับนี้มีผลตอบสนอง (Response) ทั้งหมด 16 Response (16 คาวิตี) โดยที่ต้องการให้เส้นผ่านศูนย์กลางของ Hub-C2 ในทุกๆ คาวิตี (cavity) มีค่าใกล้เคียงกันและมีความแปรปรวนน้อยที่สุด โดยที่มีเป้าหมายขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ที่ 6.650 มิลลิเมตร และค่าพิสัยความเผื่อมีค่าเท่ากับ ± 0.03 มิลลิเมตร โดยในขั้นตอนการกำหนดเงื่อนไขที่ดีที่สุด ซึ่งใช้ทฤษฎีพื้นผิวตอบสนองนั้น ผู้ทำการวิจัยได้ใช้โปรแกรมสำเร็จภาพ Minitab มาช่วยในการคำนวณโดยกำหนดเงื่อนไขดังนี้

เงื่อนไขในการกำหนดเป้าหมายเป็นแบบการเข้าสู่เส้นผ่านศูนย์กลาง (Hit Target Value) โดยให้ค่าเป้าหมาย (Target) เท่ากับ 6.650 มิลลิเมตร ในทุกๆ คาวิตี (cavity) แต่ในการคำนวณผู้ทำการวิจัยใช้ตัวเลข 2 หลักสุดท้ายของค่าเป้าหมายคือ 50 ไมโครเมตร มาใช้ในการคำนวณซึ่งมีความสะดวกและรวดเร็วในการคำนวณ

ค่าพิสัยความเผื่อของเป้าหมายได้กำหนดไว้ที่ ± 5 ไมโครเมตร ซึ่งแสดงว่าค่าเส้นผ่านศูนย์กลางจากการคำนวณจะมีเป้าหมายอยู่ที่ 50 ไมโครเมตร และค่าด้านต่ำอยู่ที่ 45 ไมโครเมตร และค่าด้านสูงอยู่ที่ 55 ไมโครเมตร

การให้น้ำหนัก (Weight) และความสำคัญของแต่ละผลตอบสนองซึ่งในที่นี้คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแต่ละ คาวิตี (cavity) จะมีค่าเท่ากันทั้งหมดโดยให้ค่าน้ำหนัก (Weight) เท่ากับ 1 และให้ค่าความสำคัญ (Important) เท่ากับ 1 เช่นกัน โดยเงื่อนไขในการกำหนดเป้าหมาย, พิสัยความเผื่อ, การให้น้ำหนัก (Weight) และการให้ความสำคัญ (Important) ดังแสดงในตารางที่ 5.35

ตารางที่ 5.35 แสดงการกำหนดเงื่อนไขในการหาสภาวะที่เหมาะสมโดยใช้ทฤษฎีพื้นผิวตอบสนอง (Response Optimize Setup)

Response	Goal	Lower	Target	Upper	Weight	Import
Cav_A	Target	45	50	55	1	1
Cav_B	Target	45	50	55	1	1
Cav_C	Target	45	50	55	1	1
Cav_D	Target	45	50	55	1	1
Cav_E	Target	45	50	55	1	1
Cav_F	Target	45	50	55	1	1
Cav_G	Target	45	50	55	1	1
Cav_H	Target	45	50	55	1	1
Cav_I	Target	45	50	55	1	1
Cav_J	Target	45	50	55	1	1
Cav-K	Target	45	50	55	1	1
Cav_L	Target	45	50	55	1	1
Cav_M	Target	45	50	55	1	1
Cav_N	Target	45	50	55	1	1
Cav_O	Target	45	50	55	1	1
Cav_P	Target	45	50	55	1	1

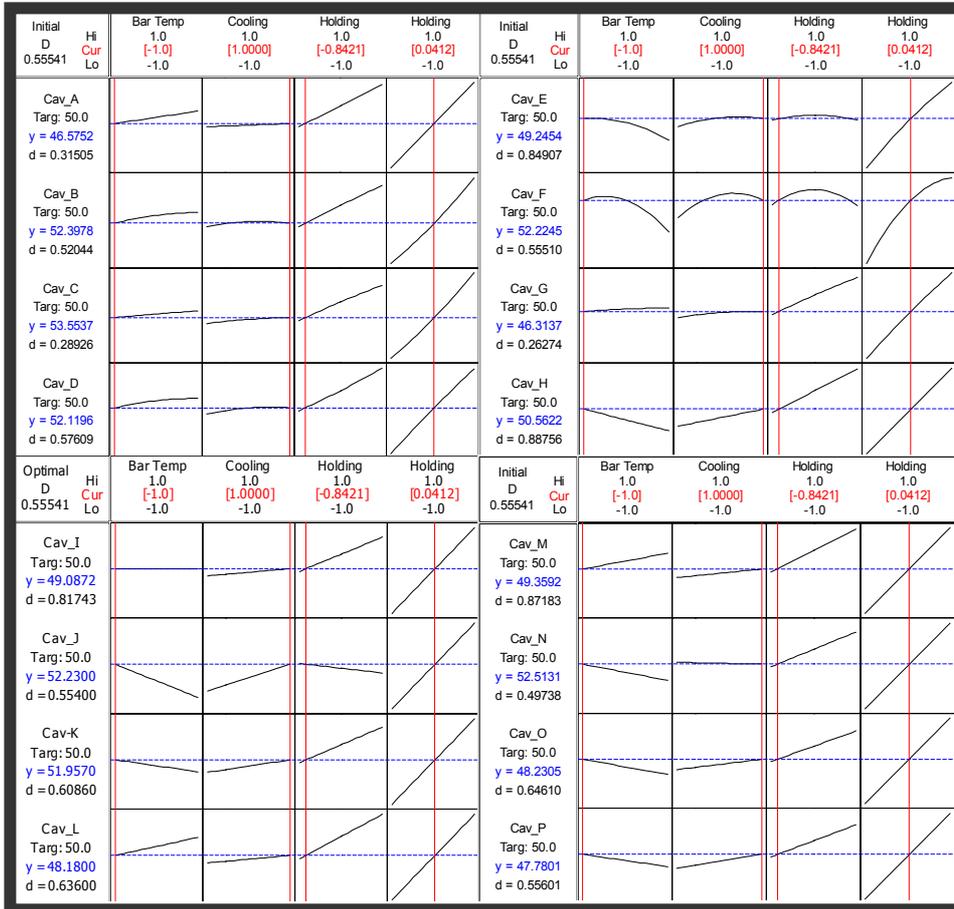
Global Solution

Bar Temp. = -1.00000
 Cooling time = 1.00000
 Holding time = -0.84215
 Holding Pres = 0.04122

จากผลการคำนวณเพื่อกำหนดเงื่อนไขที่ดีที่สุดในการผลิต (Hub-C2) ภายใต้ข้อกำหนดในข้างต้น โดยใช้วิธีการทฤษฎีพื้นผิวตอบสนองปรากฏว่าเงื่อนไขที่ดีที่สุดที่คาดว่าจะส่งผลให้เส้นผ่านศูนย์กลางของ Hub-C2 ทั้ง 16 คาวิตี (cavity) นั้นอยู่ภายใต้เป้าหมาย 50 ± 5 ไมโครเมตร (6.650 ± 0.005 มิลลิเมตร) นั้นเป็นดังนี้

- ค่าอุณหภูมิกระบอกฉีด (Barrel Temperature) กำหนดที่ระดับ -1
- ค่าเวลาในการหล่อเย็น (Cooling Time) กำหนดที่ระดับ 1
- ค่าเวลาในการอัดย้า (Holding Time) กำหนดที่ระดับ -0.84
- ค่าแรงดันในการอัดย้า (Holding Pressure) กำหนดที่ระดับ 0.04

ภาพที่ 5.19 แสดงผลการคำนวณเงื่อนไขที่ดีที่สุดในการผลิต Hub-C2 เพื่อให้เส้นผ่านศูนย์กลางทั้ง 16 คาวิตี (cavity) เป็นไปตามเป้าหมายที่กำหนดไว้โดยวิธีการพื้นผิวสนอง (Response Optimization)



เงื่อนไขที่ดีที่สุดที่ได้จากการคำนวณนั้นเป็นค่าที่กำหนดขึ้น (Coding) เพื่อใช้ในการทดลองดังนั้น ตารางที่ 5.36 จะแสดงค่าจริงของแต่ละปัจจัยที่เป็นเงื่อนไขที่ดีที่สุดที่ได้จากการคำนวณตามทฤษฎีพื้นผิวตอบสนองเพื่อจะนำไปใช้ในการทดลองเพื่อยืนยันผล (Confirmation Run) และทำการผลิตจริง

ตารางที่ 5.36 แสดงค่าที่ดีที่สุดของปัจจัยทุกปัจจัยที่เป็นเงื่อนไขที่จะนำไปใช้ในการทดลองยืนยันผล

No.	Factor.	Symbol	Optimize Setting	Unit.
1	Material.	A	Material POM . Type_B	NA.
2	Cooling syystem.	B	Series System cooling.	NA.
3	Barrel Temp_1	C	180	C°
4	Barrel Temp_2	D	190	C°
5	Barrel Temp_3	E	180	C°
6	Barrel Temp_4	F	165	C°
7	Cooling Temp.	G	60	C°
8	Cooling Time	H	5	Sec.
9	Holding Time_1	J	0.5	Sec.
10	Holding Time_2	K	0.5	Sec.
11	Holding Time_3	L	1.5	Sec.
12	Holding Pressure_1	M	405	Kg/cm ²
13	Holding Pressure_2	N	655	Kg/cm ²
14	Holding Pressure_3	O	255	Kg/cm ²

การกำหนดเงื่อนไขที่ดีที่สุดที่ได้จากการคำนวณโดยใช้ทฤษฎีพื้นผิวตอบสนองนั้นผลที่ได้จากการคำนวณในลำดับแรกคือระดับที่เหมาะสมของปัจจัยแต่ละปัจจัยที่สามารถทำให้ผลตอบสนองเป็นไปตามเป้าหมาย (Target) ที่กำหนดไว้ในกรณีที่ระบบหรือแบบจำลอง (Model) มีตัวแปรตามหรือผลตอบสนองเพียงตัวเดียวและผลการทดลองมีความถูกต้องข้อมูลของผลการทดลองมีความเป็นอิสระต่อกันโดยส่วนใหญ่ค่าผลตอบสนองจากการทำนาย (Predicted Value) จะตรงกับเป้าหมาย (Target) ที่กำหนดไว้ภายใต้การคำนวณตามแบบทฤษฎีพื้นผิวตอบสนองและจะให้ค่า Desirability เท่ากับ 1 ซึ่งหมายความว่าค่าที่ได้จากการทำนายตรงกับเป้าหมายที่กำหนดไว้

ในกรณีผลการวิจัยฉบับนี้มีผลตอบสนองหรือตัวแปรตามทั้งหมด 16 ผลตอบสนอง (16 คาวิตี) ดังนั้นย่อมเป็นไปได้ยากที่จะทำให้เส้นผ่านศูนย์กลางของ Hub-C2 ทั้ง 16 คาวิตี (cavity) มีค่าเท่ากันทั้งหมดแต่จุดมุ่งหมายจะต้องมีความแตกต่างกันน้อยที่สุด ซึ่งนั่นหมายความว่ามีความแปรปรวนน้อยที่สุดและทำให้มีของเสียต่ำที่สุดซึ่งเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยฉบับนี้ ตารางที่ 5.33 แสดงผลการทำนาย (Predicted) ของผลตอบสนองหรือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Hub-C2 ทั้ง 16 คาวิตี (cavity) ที่ได้จากการคำนวณโดยวิธีการพื้นผิวตอบสนอง

ตารางที่ 5.37 แสดงผลทำนาย (Predicted) และค่า Desirability ของเส้นผ่านศูนย์กลางของ Hub-C2 ทั้ง 16 คาวิตี (cavity)

Response	Predicted	Desirability
Cav_A	46.5	0.315
Cav_B	52.4	0.520
Cav_C	53.6	0.289
Cav_D	52.1	0.576
Cav_E	49.2	0.849
Cav_F	52.2	0.555
Cav_G	46.3	0.263
Cav_H	50.5	0.888
Cav_I	49.0	0.817
Cav_J	52.2	0.554
Cav-K	51.9	0.609
Cav_L	48.1	0.636
Cav_M	49.3	0.872
Cav_N	52.5	0.497
Cav_O	48.2	0.646
Cav_P	47.7	0.556
Average	50.1	
STDEV.	2.4	
Composite Desirability = 0.555		

จากตารางที่ 5.37 จะเห็นได้ว่าค่าเส้นผ่านศูนย์กลางจากผลการทำนายมีความแตกต่างกันซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยที่ส่งต่อ คาวิตี (cavity) นั้นๆ แต่ในขณะเดียวกันก็ยังอยู่ภายใต้พิสัยความเผื่อที่กำหนดไว้คือ 50 ± 5 ไมโครเมตร และค่า Desirability จะแปรผันตามผลการทำนายเปรียบเทียบกับเป้าหมาย (Target) ที่กำหนดไว้ในช่วงแรกซึ่งสังเกตได้ว่าค่าเส้นผ่านศูนย์กลางที่เข้าใกล้เป้าหมาย (50 ไมโครเมตร) จะให้ค่า Desirability ที่เข้าใกล้ 1 ซึ่งจากตาราง 5.33 ค่า Desirability โดยรวมทั้งหมด (Composite Desirability) ของ 16 คาวิตี (cavity) มีค่าเท่ากับ 0.55

5.4 ผลการทดลองยืนยันผลการทดลองสภาวะที่เหมาะสม (Confirmation Run)

การทดลองเพื่อยืนยันผลเป็นการทดลองผลิตเพื่อทำการพิสูจน์ว่าเงื่อนไขที่ดีที่สุดนั้นมีประสิทธิผลเพียงใดและให้ผลเป็นไปตามความต้องการหรือไม่ก่อนที่จะนำเงื่อนไขที่ดีที่สุดไปใช้ผลิตจริง โดยที่เงื่อนไขที่ดีที่สุดนั้นได้มาจากการทดลอง เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมโดยวิธีการทดลองเพื่อยืนยันผลมีเงื่อนไขดังต่อไปนี้

- เงื่อนไขที่ใช้ทดลองเพื่อยืนยันผลการทดลองการค้นหาสภาวะที่เหมาะสมแบ่งเป็น 3 การทดลองย่อย ดังนี้
 - 1) การทดลองยืนยันผลโดยใช้เงื่อนไขที่ดีที่สุดจากการทดลอง เพื่อค้นหาสภาวะที่เหมาะสม โดยแสดงในตารางที่ 5.36

- 2) การทดลองโดยการปรับเปลี่ยนปัจจัยอุณหภูมิกระบอกลด (Barrel Temperature) ไปที่ระดับ 0 คืออุณหภูมิกระบอกลดโซนที่ 1 เท่ากับ 190 °C โซนที่ 2 เท่ากับ 205 °C โซนที่ 3 เท่ากับ 195 °C และโซนที่ 4 เท่ากับ 180 °C โดยที่ยังคงปัจจัยอื่นๆไว้ตามเงื่อนไขที่ดีที่สุดจากการทดลองเพื่อค้นหาสภาวะที่เหมาะสม
- 3) การทดลองโดยการปรับเปลี่ยนปัจจัยอุณหภูมิกระบอกลด (Barrel Temperature) ไปที่ระดับ +1 คืออุณหภูมิกระบอกลดโซนที่ 1 เท่ากับ 210 °C โซนที่ 2 เท่ากับ 220 °C โซนที่ 3 เท่ากับ 210 °C และโซนที่ 4 เท่ากับ 195 °C โดยที่ยังคงปัจจัยอื่นๆไว้ตามเงื่อนไขที่ดีที่สุดจากการทดลองเพื่อค้นหาสภาวะที่เหมาะสม

หมายเหตุ : เหตุผลในการทดลองเพื่อยืนยันผลโดยการเลือกปรับเปลี่ยนเงื่อนไขของอุณหภูมิกระบอกลด (Barrel Temperature) สืบเนื่องจากอุณหภูมิกระบอกลดส่งผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Hub-C2 เพียง 7 คิวตี้ เมื่อเปรียบเทียบกับปัจจัยอื่นๆ เพื่อทำการเปรียบเทียบผลกับเงื่อนไขที่ดีที่สุด รวมถึงการศึกษามลกระทบของอุณหภูมิกระบอกลด (Barrel Temperature) ต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง Hub-C2

- ทำการทดลองผลิตโดยการฉีด Hub-C2 อย่างต่อเนื่อง 30 ครั้ง ทั้ง 3 เงื่อนไขการทดลอง
- ตรวจสอบสภาพภายนอกและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในทั้ง 16 คิวตี้ ทั้ง 3 เงื่อนไขผลดังแสดงในตารางที่ 5.38-5.40
- ทำการวิเคราะห์ข้อมูลเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของ Hub-C2 ของการทดลองยืนยันผลทั้ง 3 เงื่อนไขโดยเปรียบเทียบเงื่อนไขที่ดีที่สุดกับเงื่อนไขการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิกระบอกลดทั้งสองเงื่อนไขโดยใช้ดัชนีความสามารถของกระบวนการเป็นตัวเปรียบเทียบ (Cpk) ผลแสดงในตารางที่ 5.41
- ทำการเปรียบเทียบเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของเงื่อนไขที่ดีที่สุดกับเงื่อนไขของการผลิตในปัจจุบันซึ่งผลดังแสดงในตารางที่ 5.42

ตารางที่ 5.38 แสดงผลการทดลองเพื่อยืนยันผลของเงื่อนไขที่ตีที่สุด

Sample No.	Cluster-1				Cluster-2				Cluster-3				Cluster-4			
	Cav A	Cav B	Cav C	Cav D	Cav E	Cav F	Cav G	Cav H	Cav I	Cav J	Cav K	Cav L	Cav M	Cav N	Cav O	Cav P
1	6.646	6.655	6.654	6.648	6.648	6.651	6.648	6.65	6.654	6.649	6.655	6.653	6.65	6.65	6.654	6.651
2	6.652	6.649	6.656	6.655	6.644	6.654	6.646	6.652	6.65	6.655	6.653	6.655	6.652	6.646	6.66	6.65
3	6.644	6.649	6.650	6.654	6.656	6.649	6.647	6.655	6.651	6.649	6.657	6.654	6.645	6.653	6.658	6.647
4	6.642	6.656	6.652	6.653	6.656	6.651	6.647	6.653	6.654	6.652	6.653	6.648	6.654	6.655	6.656	6.643
5	6.647	6.650	6.651	6.654	6.648	6.657	6.652	6.646	6.647	6.651	6.66	6.649	6.649	6.652	6.659	6.649
6	6.646	6.653	6.653	6.650	6.648	6.653	6.646	6.652	6.646	6.65	6.651	6.649	6.652	6.658	6.646	6.648
7	6.643	6.656	6.654	6.652	6.653	6.652	6.643	6.65	6.651	6.652	6.655	6.651	6.655	6.649	6.655	6.649
8	6.651	6.648	6.650	6.644	6.650	6.651	6.649	6.655	6.655	6.647	6.652	6.644	6.653	6.653	6.654	6.649
9	6.655	6.647	6.656	6.658	6.649	6.653	6.643	6.651	6.651	6.652	6.663	6.648	6.646	6.65	6.657	6.651
10	6.646	6.650	6.649	6.650	6.650	6.656	6.648	6.649	6.655	6.653	6.658	6.651	6.651	6.656	6.655	6.644
11	6.641	6.648	6.651	6.647	6.646	6.649	6.645	6.654	6.649	6.656	6.658	6.649	6.643	6.649	6.658	6.643
12	6.650	6.649	6.652	6.650	6.654	6.657	6.643	6.648	6.652	6.654	6.656	6.65	6.649	6.654	6.66	6.649
13	6.655	6.655	6.650	6.658	6.642	6.654	6.646	6.654	6.652	6.65	6.66	6.649	6.649	6.653	6.656	6.642
14	6.649	6.652	6.657	6.651	6.654	6.656	6.644	6.657	6.653	6.655	6.652	6.656	6.655	6.654	6.658	6.654
15	6.646	6.652	6.656	6.658	6.649	6.655	6.645	6.656	6.649	6.651	6.656	6.648	6.655	6.657	6.655	6.649
16	6.643	6.649	6.646	6.653	6.651	6.649	6.653	6.652	6.65	6.648	6.656	6.649	6.652	6.649	6.656	6.656
17	6.645	6.642	6.651	6.654	6.652	6.649	6.649	6.656	6.649	6.646	6.659	6.657	6.654	6.651	6.653	6.649
18	6.647	6.655	6.654	6.654	6.650	6.652	6.643	6.649	6.649	6.653	6.653	6.647	6.648	6.653	6.654	6.648
19	6.652	6.649	6.651	6.654	6.642	6.648	6.65	6.649	6.647	6.648	6.66	6.648	6.655	6.656	6.657	6.647
20	6.642	6.646	6.653	6.656	6.652	6.657	6.653	6.656	6.656	6.647	6.653	6.656	6.653	6.65	6.656	6.651
21	6.647	6.651	6.654	6.649	6.645	6.643	6.649	6.656	6.647	6.653	6.658	6.649	6.653	6.656	6.657	6.648
22	6.648	6.650	6.650	6.654	6.650	6.651	6.644	6.653	6.652	6.651	6.659	6.647	6.65	6.649	6.652	6.652
23	6.643	6.654	6.650	6.653	6.647	6.65	6.652	6.649	6.648	6.648	6.652	6.646	6.653	6.655	6.657	6.646
24	6.651	6.650	6.651	6.650	6.650	6.648	6.645	6.646	6.648	6.657	6.656	6.657	6.648	6.651	6.65	6.656
25	6.645	6.654	6.646	6.650	6.646	6.653	6.649	6.652	6.647	6.654	6.655	6.653	6.655	6.654	6.658	6.656
26	6.647	6.651	6.655	6.655	6.652	6.65	6.647	6.647	6.654	6.656	6.659	6.655	6.649	6.651	6.653	6.644
27	6.655	6.650	6.649	6.653	6.649	6.651	6.642	6.658	6.657	6.651	6.653	6.655	6.652	6.657	6.65	6.651
28	6.646	6.654	6.653	6.647	6.647	6.642	6.649	6.646	6.651	6.657	6.654	6.648	6.649	6.647	6.657	6.648
29	6.644	6.647	6.651	6.653	6.649	6.646	6.647	6.652	6.655	6.655	6.653	6.654	6.648	6.654	6.653	6.651
30	6.646	6.655	6.654	6.648	6.643	6.653	6.65	6.654	6.655	6.651	6.659	6.65	6.652	6.647	6.648	6.652
Ave.	6.647	6.651	6.652	6.652	6.649	6.651	6.647	6.652	6.651	6.652	6.656	6.651	6.651	6.652	6.655	6.649
STDEV.	0.004	0.0033	0.0028	0.0034	0.0038	0.0038	0.0032	0.0036	0.0031	0.0031	0.0032	0.0036	0.0032	0.0033	0.0034	0.0038
Max	6.655	6.656	6.657	6.658	6.656	6.657	6.653	6.660	6.657	6.657	6.663	6.657	6.655	6.658	6.660	6.656

ตารางที่ 5.39 แสดงผลการทดลองเพื่อยืนยันผลโดยการปรับเปลี่ยนปัจจัยอุณหภูมิกระบอกลดไปที่

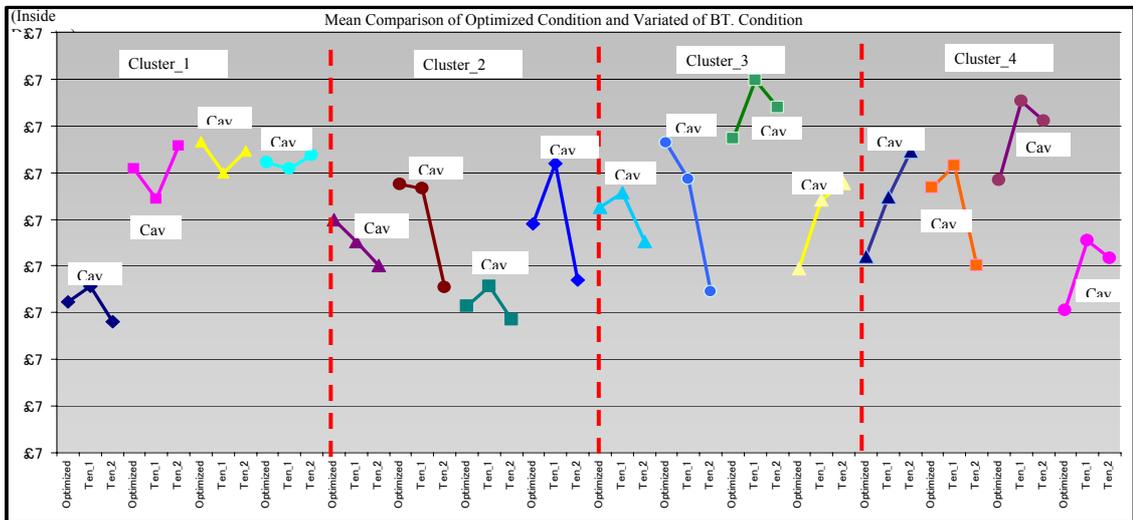
ระดับ 0

Sample No.	Cluster-1				Cluster-2				Cluster-3				Cluster-4			
	Cav A	Cav B	Cav C	Cav D	Cav E	Cav F	Cav G	Cav H	Cav I	Cav J	Cav K	Cav L	Cav M	Cav N	Cav O	Cav P
1	6.647	6.65	6.653	6.656	6.647	6.647	6.648	6.649	6.651	6.653	6.652	6.645	6.648	6.648	6.651	6.643
2	6.645	6.651	6.657	6.651	6.648	6.652	6.652	6.649	6.65	6.65	6.65	6.648	6.651	6.655	6.654	6.646
3	6.644	6.654	6.65	6.653	6.654	6.653	6.648	6.653	6.653	6.655	6.655	6.65	6.65	6.654	6.652	6.643
4	6.646	6.656	6.657	6.65	6.653	6.651	6.651	6.647	6.647	6.65	6.653	6.646	6.646	6.648	6.651	6.65
5	6.645	6.65	6.658	6.656	6.649	6.651	6.646	6.645	6.649	6.653	6.652	6.648	6.645	6.652	6.651	6.646
6	6.647	6.65	6.65	6.652	6.651	6.655	6.646	6.65	6.653	6.656	6.657	6.65	6.652	6.651	6.651	6.646
7	6.642	6.655	6.655	6.651	6.648	6.65	6.646	6.652	6.648	6.654	6.652	6.647	6.648	6.653	6.648	6.651
8	6.646	6.65	6.653	6.655	6.647	6.653	6.648	6.649	6.654	6.651	6.651	6.65	6.648	6.654	6.65	6.65
9	6.641	6.653	6.655	6.655	6.647	6.65	6.648	6.646	6.648	6.653	6.651	6.651	6.652	6.648	6.654	6.648
10	6.65	6.653	6.653	6.654	6.649	6.655	6.646	6.65	6.654	6.65	6.653	6.65	6.645	6.653	6.657	6.65
11	6.644	6.649	6.656	6.65	6.651	6.648	6.643	6.651	6.647	6.655	6.653	6.65	6.65	6.655	6.655	6.647
12	6.644	6.655	6.649	6.65	6.649	6.648	6.643	6.647	6.655	6.655	6.657	6.646	6.647	6.652	6.652	6.651
13	6.651	6.654	6.658	6.657	6.653	6.654	6.648	6.645	6.649	6.65	6.657	6.65	6.649	6.65	6.651	6.65
14	6.648	6.65	6.651	6.652	6.647	6.653	6.648	6.647	6.653	6.653	6.655	6.644	6.646	6.649	6.647	6.647
15	6.645	6.648	6.653	6.647	6.654	6.649	6.642	6.646	6.654	6.652	6.654	6.645	6.646	6.653	6.648	6.648
16	6.643	6.653	6.651	6.655	6.649	6.653	6.648	6.652	6.648	6.653	6.656	6.647	6.649	6.652	6.656	6.647
17	6.651	6.653	6.655	6.648	6.647	6.649	6.648	6.654	6.649	6.657	6.657	6.647	6.648	6.648	6.652	6.641
18	6.646	6.654	6.651	6.656	6.652	6.654	6.643	6.657	6.647	6.653	6.656	6.647	6.647	6.649	6.651	6.644
19	6.646	6.652	6.65	6.655	6.652	6.651	6.645	6.646	6.649	6.653	6.655	6.644	6.65	6.651	6.647	6.647
20	6.646	6.65	6.652	6.655	6.651	6.649	6.645	6.648	6.654	6.653	6.654	6.648	6.652	6.649	6.651	6.642
21	6.643	6.652	6.655	6.65	6.652	6.654	6.649	6.645	6.648	6.655	6.654	6.65	6.646	6.652	6.655	6.644
22	6.648	6.649	6.653	6.649	6.648	6.654	6.644	6.652	6.65	6.656	6.651	6.651	6.647	6.653	6.648	6.645
23	6.645	6.653	6.656	6.651	6.647	6.654	6.642	6.647	6.65	6.652	6.656	6.648	6.651	6.652	6.654	6.645
24	6.65	6.655	6.651	6.653	6.653	6.651	6.641	6.654	6.649	6.65	6.654	6.651	6.651	6.654	6.657	6.642
25	6.65	6.651	6.652	6.651	6.647	6.65	6.65	6.651	6.652	6.654	6.655	6.644	6.646	6.65	6.652	6.643
26	6.648	6.655	6.654	6.652	6.654	6.65	6.647	6.65	6.653	6.652	6.652	6.646	6.649	6.654	6.649	6.641
27	6.649	6.654	6.655	6.654	6.652	6.653	6.644	6.655	6.651	6.654	6.65	6.649	6.651	6.65	6.657	6.646
28	6.651	6.651	6.654	6.65	6.65	6.654	6.645	6.654	6.652	6.656	6.649	6.649	6.647	6.648	6.65	6.645
29	6.647	6.652	6.651	6.652	6.653	6.652	6.646	6.649	6.647	6.654	6.653	6.65	6.646	6.654	6.649	6.645
30	6.646	6.653	6.651	6.653	6.646	6.648	6.648	6.654	6.652	6.656	6.649	6.645	6.65	6.65	6.65	6.65
Ave.	6.646	6.652	6.653	6.652	6.650	6.652	6.646	6.650	6.651	6.653	6.653	6.648	6.648	6.651	6.652	6.646
STDEV.	0.0027	0.0022	0.0025	0.0026	0.0026	0.0023	0.0027	0.0034	0.0025	0.0020	0.0024	0.0023	0.0022	0.0023	0.0030	0.0030
Max	6.6510	6.6560	6.6580	6.6570	6.6540	6.6550	6.6520	6.6570	6.6550	6.6570	6.6600	6.6510	6.6520	6.6550	6.6570	6.6510
Min	6.6410	6.6480	6.6490	6.6470	6.6460	6.6470	6.6410	6.6450	6.6470	6.6500	6.6490	6.6440	6.6450	6.6480	6.6470	6.6410

ตารางที่ 5.40 แสดงผลการทดลองเพื่อยืนยันผลโดยการปรับเปลี่ยนปัจจัยคุณหมุมิกระบอกฉีดไปที่ระดับ +1

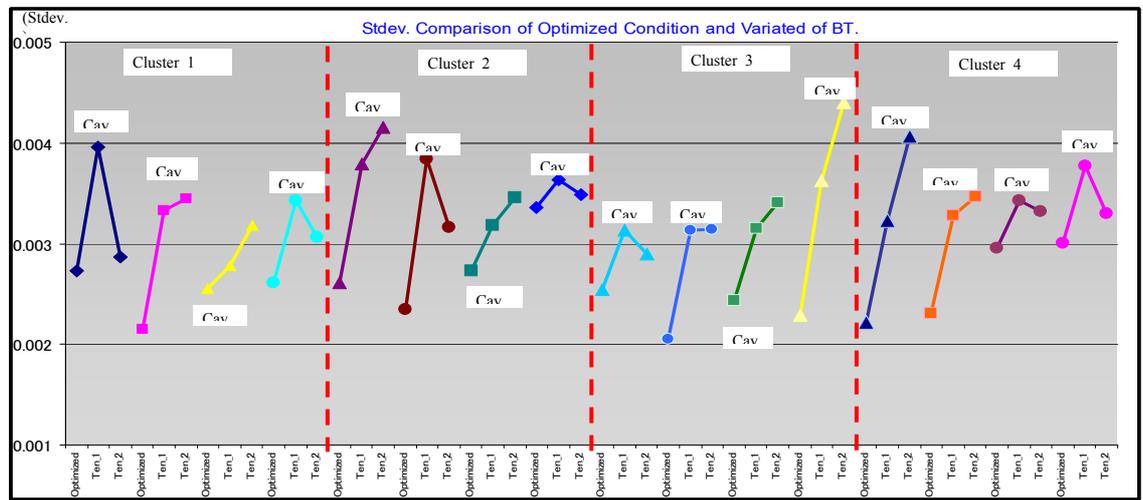
Sample No.	Cluster-1				Cluster-2				Cluster-3				Cluster-4			
	Cav A	Cav B	Cav C	Cav D	Cav E	Cav F	Cav G	Cav H	Cav I	Cav J	Cav K	Cav L	Cav M	Cav N	Cav O	Cav P
1	6.651	6.658	6.658	6.653	6.649	6.645	6.644	6.647	6.646	6.651	6.653	6.6499	6.656	6.642	6.654	6.649
2	6.649	6.650	6.652	6.651	6.651	6.642	6.64	6.645	6.651	6.651	6.656	6.6518	6.656	6.646	6.658	6.651
3	6.646	6.651	6.653	6.654	6.650	6.651	6.645	6.646	6.649	6.644	6.658	6.6575	6.653	6.647	6.656	6.652
4	6.646	6.650	6.654	6.657	6.647	6.646	6.646	6.655	6.654	6.649	6.656	6.6503	6.654	6.646	6.653	6.655
5	6.647	6.649	6.652	6.653	6.649	6.643	6.65	6.65	6.645	6.647	6.649	6.6538	6.649	6.651	6.656	6.646
6	6.645	6.656	6.654	6.658	6.657	6.645	6.647	6.652	6.654	6.648	6.655	6.6576	6.656	6.653	6.654	6.645
7	6.644	6.653	6.650	6.655	6.650	6.651	6.648	6.65	6.651	6.646	6.651	6.6486	6.652	6.647	6.656	6.651
8	6.645	6.656	6.649	6.647	6.649	6.649	6.643	6.648	6.649	6.643	6.66	6.6468	6.657	6.649	6.658	6.648
9	6.649	6.654	6.654	6.651	6.642	6.653	6.651	6.646	6.649	6.65	6.654	6.6529	6.645	6.65	6.655	6.643
10	6.644	6.651	6.654	6.654	6.645	6.646	6.642	6.649	6.644	6.649	6.656	6.6438	6.662	6.65	6.649	6.653
11	6.644	6.658	6.650	6.651	6.639	6.641	6.644	6.645	6.654	6.648	6.656	6.66	6.648	6.648	6.656	6.65
12	6.649	6.650	6.655	6.654	6.649	6.652	6.646	6.651	6.650	6.645	6.651	6.6567	6.656	6.648	6.656	6.647
13	6.642	6.653	6.655	6.650	6.652	6.648	6.653	6.649	6.648	6.646	6.654	6.6542	6.652	6.641	6.649	6.651
14	6.649	6.652	6.650	6.654	6.647	6.648	6.639	6.648	6.648	6.648	6.653	6.651	6.6522	6.655	6.645	6.647
15	6.64	6.648	6.656	6.652	6.648	6.647	6.643	6.645	6.645	6.643	6.653	6.647	6.648	6.648	6.659	6.648
16	6.645	6.661	6.655	6.650	6.653	6.648	6.649	6.645	6.650	6.642	6.664	6.645	6.65	6.647	6.658	6.652
17	6.642	6.651	6.656	6.652	6.645	6.648	6.644	6.65	6.644	6.649	6.655	6.658	6.646	6.654	6.647	6.648
18	6.647	6.649	6.651	6.651	6.644	6.651	6.641	6.645	6.645	6.649	6.654	6.6499	6.649	6.653	6.656	6.65
19	6.647	6.651	6.649	6.657	6.648	6.646	6.644	6.649	6.651	6.646	6.652	6.6478	6.653	6.652	6.654	6.649
20	6.646	6.656	6.647	6.645	6.652	6.647	6.646	6.648	6.648	6.646	6.656	6.6565	6.653	6.645	6.656	6.648
21	6.646	6.657	6.646	6.656	6.643	6.644	6.652	6.641	6.649	6.644	6.655	6.6448	6.654	6.645	6.652	6.643
22	6.641	6.656	6.650	6.655	6.651	6.65	6.642	6.651	6.648	6.64	6.658	6.6482	6.651	6.647	6.65	6.648
23	6.643	6.660	6.651	6.654	6.645	6.644	6.646	6.651	6.651	6.649	6.649	6.6564	6.659	6.645	6.648	6.647
24	6.649	6.652	6.657	6.657	6.642	6.645	6.646	6.653	6.647	6.649	6.656	6.6535	6.651	6.649	6.653	6.646
25	6.651	6.651	6.654	6.653	6.646	6.646	6.647	6.643	6.651	6.647	6.654	6.6478	6.656	6.647	6.656	6.649
26	6.646	6.650	6.658	6.653	6.652	6.646	6.648	6.643	6.646	6.652	6.656	6.6504	6.655	6.643	6.656	6.645
27	6.644	6.655	6.653	6.651	6.650	6.645	6.65	6.643	6.649	6.643	6.66	6.6536	6.648	6.65	6.652	6.652
28	6.642	6.650	6.658	6.648	6.655	6.644	6.643	6.646	6.652	6.648	6.651	6.6538	6.653	6.654	6.654	6.644
29	6.643	6.654	6.655	6.651	6.649	6.649	6.647	6.652	6.646	6.652	6.652	6.6513	6.66	6.653	6.659	6.652
30	6.646	6.652	6.652	6.655	6.642	6.653	6.645	6.641	6.651	6.644	6.659	6.6464	6.651	6.646	6.657	6.641
Ave.	6.646	6.653	6.653	6.653	6.648	6.647	6.646	6.647	6.649	6.647	6.655	6.652	6.653	6.648	6.654	6.648
STDEV.	0.0029	0.0035	0.0032	0.0031	0.0042	0.0032	0.0035	0.0035	0.0029	0.0031	0.0034	0.0044	0.0041	0.0035	0.0033	0.0033
Max	6.651	6.661	6.658	6.658	6.657	6.653	6.653	6.655	6.654	6.653	6.664	6.660	6.662	6.654	6.659	6.655
Min	6.640	6.648	6.646	6.645	6.639	6.641	6.639	6.641	6.644	6.640	6.649	6.644	6.645	6.641	6.647	6.641

ภาพที่ 5.20 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน Hub-C2 ของเงื่อนไขที่ดีที่สุดกับเงื่อนไขการปรับเปลี่ยนคุณหมุมิกระบอกฉีดไปที่ระดับ 0 และระดับ +1



หมายเหตุ : จากภาพที่ 5.20 จะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลาง Hub-C2 ในคลัสเตอร์ (Cluster) ที่ 1 มีค่าไม่แตกต่างกันมากนักของเงื่อนไขทั้ง 3 ขณะที่คลัสเตอร์ (Cluster) ที่ 2 คาวิตี F และ H มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางอย่างชัดเจนส่วนในคลัสเตอร์ (Cluster) ที่ 3 คาวิตี J มีค่าความแตกต่างของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเงื่อนไขที่ดีที่สุดกับเงื่อนไขการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิกระบอกฉีดถึง 6 ไมโครเมตร ซึ่งถือว่าอยู่ในระดับที่สูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับคาวิตีอื่น ๆ และคลัสเตอร์ (Cluster) ที่ 4 ค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของ Hub-C2 มีค่าแตกต่างกันชัดเจนในทุกคาวิตีของเงื่อนไขทั้ง 3

ภาพที่ 5.21 แสดงการเปรียบเทียบค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน Hub-C2 ของเงื่อนไขที่ดีที่สุดกับเงื่อนไขการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิกระบอกฉีดไปที่ระดับ 0 และระดับ +1

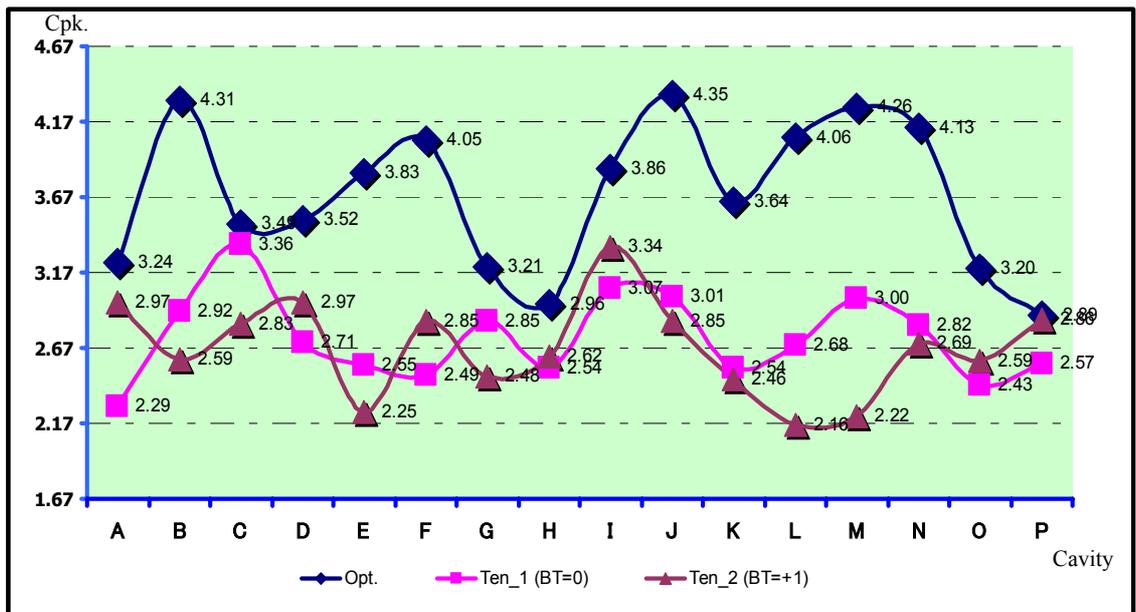


หมายเหตุ : จากภาพที่ 5.21 จะสังเกตเห็นได้ว่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเงื่อนไขที่ดีที่สุดมีค่าต่ำกว่าเงื่อนไขของการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิของกระบอกฉีดทั้งสองเงื่อนไขในทุกๆ คาวิตี ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าอุณหภูมิของกระบอกฉีด ซึ่งเพิ่มขึ้นจากเงื่อนไขที่ดีที่สุดนั้นส่งผลให้ค่าแปรปรวนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 5.41 แสดงการเปรียบเทียบค่าดัชนีความสามารถของกระบวนการ (Cpk) ของผลการทดลองเพื่อยืนยันผลเงื่อนไขที่ดีที่สุดและการทดลองปรับเปลี่ยนค่าอุณหภูมิของกระบอกฉีดไปที่ระดับ 0 และ +1

Cavity.	Optimized Condition			Variatd Test cond_1 (BT =0)			Variatd Test cond_2 (BT =+1)		
	Mean	Stdev.	Cpk.	Mean	Stdev	Cpk.	Mean	Stdev	Cpk.
A	6.646	0.0027	3.24	6.647	0.004	2.29	6.646	0.003	2.97
B	6.652	0.0022	4.31	6.651	0.003	2.92	6.653	0.003	2.59
C	6.653	0.0025	3.49	6.652	0.003	3.36	6.653	0.003	2.83
D	6.652	0.0026	3.52	6.652	0.003	2.71	6.653	0.003	2.97
E	6.650	0.0026	3.83	6.649	0.004	2.55	6.648	0.004	2.25
F	6.652	0.0023	4.05	6.651	0.004	2.49	6.647	0.003	2.85
G	6.646	0.0027	3.21	6.647	0.003	2.85	6.646	0.003	2.48
H	6.650	0.0034	2.96	6.652	0.004	2.54	6.647	0.003	2.62
I	6.651	0.0025	3.86	6.651	0.003	3.07	6.649	0.003	3.34
J	6.653	0.0020	4.35	6.652	0.003	3.01	6.647	0.003	2.85
K	6.653	0.0024	3.64	6.656	0.003	2.54	6.655	0.003	2.46
L	6.648	0.0023	4.06	6.651	0.004	2.68	6.652	0.004	2.16
M	6.648	0.0022	4.26	6.651	0.003	3.00	6.653	0.004	2.22
N	6.651	0.0023	4.13	6.652	0.003	2.82	6.648	0.003	2.69
O	6.652	0.0030	3.20	6.655	0.003	2.43	6.654	0.003	2.59
P	6.646	0.0030	2.89	6.649	0.004	2.57	6.648	0.003	2.86

ภาพที่ 5.22 แสดงการเปรียบเทียบค่าดัชนีความสามารถของกระบวนการ (Cpk) ของผลการทดลองเพื่อยืนยันผลเงื่อนไขที่ดีที่สุดและการทดลองปรับเปลี่ยนค่าอุณหภูมิของกระบอกฉีดไปที่ระดับ 0 และ +1



จากผลการทดลองเพื่อยืนยันผลเงื่อนไขที่ดีที่สุดที่เปรียบเทียบกับเงื่อนไขในการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิ กระบอกถีดนั้นพบว่าเมื่อมีการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิกระบอกถีดจากค่าที่ดีที่สุดคือ ระดับ -1 ไปเป็น ระดับ 0 และระดับ +1 ค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางภายในมีการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัดในคลัสเตอร์ (Cluster) ที่ 4 คือ คาวิตี M, N, O และ P ในขณะเดียวกันค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของเงื่อนไขการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิกระบอกถีดทั้งสองเงื่อนไขมีค่าสูงกว่าเงื่อนไขที่ดีที่สุดดังแสดงในภาพที่ 5.21 ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าเงื่อนไขที่ดีที่สุดเป็นเงื่อนไขที่เหมาะสมจริง สำหรับการผลิต Hub-C2 และในขณะเดียวกันก็สามารถพิสูจน์ได้ว่าอุณหภูมิของกระบอกถีดส่งผลต่อค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางของ Hub-C2 จริง โดยเฉพาะคาวิตี M, N, O และ P

ตารางที่ 5.42 แสดงผลการเปรียบเทียบค่า Cpk (ดัชนีความสามารถของกระบวนการ) ของเส้นผ่านศูนย์กลาง Huc-C2 ในทุก คาวิตี (cavity) ในเงื่อนไขปัจจุบันและเงื่อนไขหลังการปรับปรุง

Cavity.	Current Condition.			New condition (Confirmation Run)		
	Mean	Stdev.	Cpk.	Mean	Stdev	Cpk.
A	6.622	0.006	0.11	6.646	0.0027	3.24
B	6.644	0.007	1.14	6.652	0.0022	4.31
C	6.648	0.005	1.87	6.653	0.0025	3.49
D	6.621	0.008	0.04	6.652	0.0026	3.52
E	6.653	0.005	1.80	6.650	0.0026	3.83
F	6.644	0.007	1.14	6.652	0.0023	4.05
G	6.643	0.008	0.96	6.646	0.0027	3.21
H	6.652	0.008	1.17	6.650	0.0034	2.96
I	6.642	0.006	1.22	6.651	0.0025	3.86
J	6.641	0.005	1.40	6.653	0.0020	4.35
K	6.619	0.008	-0.04	6.653	0.0024	3.64
L	6.643	0.005	1.53	6.648	0.0023	4.06
M	6.644	0.006	1.33	6.648	0.0022	4.26
N	6.634	0.007	0.67	6.651	0.0023	4.13
O	6.616	0.005	-0.27	6.652	0.0030	3.20
P	6.641	0.006	1.17	6.646	0.0030	2.89

จากตารางที่ 5.42 จะเห็นได้ว่าค่า Cpk ของเส้นผ่านศูนย์กลางในทุกๆ คาวิตี (cavity) มีการปรับปรุงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดโดยเฉพาะ คาวิตี (cavity) A, D, K และ O ซึ่งก่อนหน้านี้นี้ทั้ง 4 คาวิตี (cavity) ไม่สามารถที่จะทำการผลิตได้โดยที่ค่า Cpk หลังการปรับปรุงของคาวิตี (cavity) A เท่ากับ 3.24, คาวิตี (cavity) D เท่ากับ 3.52, คาวิตี (cavity) K เท่ากับ 3.64 และคาวิตี (cavity) O เท่ากับ 3.20 ซึ่งผลการทดลองหลังการปรับปรุงได้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของงานวิจัยฉบับนี้ว่าผลการปรับปรุงคุณภาพเส้นผ่านศูนย์กลางของ Hub-C2 จะใช้ดัชนีความสามารถของกระบวนการ (Cpk) เป็นตัววัดผลโดยที่ค่า Cpk ที่มีค่ามากขึ้นย่อมแสดงให้เห็นว่าปริมาณของเสียลดน้อยลง

5.5 ผลการนำเงื่อนไขที่ดีที่สุดไปใช้ในการผลิตจริง

จากผลการทดลองเพื่อยืนยันผลได้พิสูจน์ให้เห็นแล้วว่าเงื่อนไขที่ดีที่สุดนั้นมีประสิทธิภาพสามารถนำมาใช้ได้จริงซึ่งพิจารณาจากค่า Cpk ที่เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเจนนั่นผู้ทำการวิจัยได้นำเอาเงื่อนไขที่ดีที่สุดไปใช้ในการผลิตจริง โดยที่มีการสุ่มเก็บข้อมูลอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 1 เดือน ซึ่งเงื่อนไขในการเก็บข้อมูลนั้นเป็นไปตามวิธีการทำงานมาตรฐานที่กำหนดไว้โดยที่มีการตรวจสอบสภาพภายนอกของ Hub-C2 ในทุกๆ คาวิตี้ (cavity) ให้เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด และทำการตรวจสอบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางจำนวน 5 ชิ้น ในแต่ละคาวิตี้ (cavity) โดยที่ผลสรุปคุณภาพของ Hub-C2 หลังการปรับปรุงสามารถสรุปได้ดังนี้

5.5.1 สรุปผลการปรับปรุงคุณภาพของ Hub-C2 ในคลัสเตอร์ (cluster) ที่ 1 ซึ่งประกอบด้วย คาวิตี้ (cavity) A, B, C และ D

- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของคาวิตี้ (cavity) A ก่อนทำการปรับปรุงไม่เป็นไปตามมาตรฐานโดยมีค่า Cpk เท่ากับ 0.11 แต่ผลการปรับปรุงทำให้ค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางของคาวิตี้ (cavity) A เท่ากับ 6.646 มิลลิเมตร และมีค่า Cpk เท่ากับ 2.14 จากผลการผลิตภายใน 1 เดือน ภายหลังจากการปรับปรุง
- คาวิตี้ (cavity) B มีค่า Cpk เพิ่มขึ้นจาก 1.14 เป็น 1.87 ซึ่งทำให้เห็นว่าผลจากการปรับปรุงสามารถลดความแปรปรวนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของคาวิตี้ (cavity) B ได้อย่างชัดเจน
- คาวิตี้ (cavity) C มีค่า Cpk เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับคาวิตี้ (cavity) B โดยที่ค่า Cpk ก่อนการปรับปรุงมีค่าเท่ากับ 1.87 และค่า Cpk ภายหลังจากการปรับปรุงมีค่าเท่ากับ 2.73
- คาวิตี้ (cavity) D ก่อนทำการปรับปรุงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่สามารถนำไปใช้งานได้เพราะมีขนาดเล็กกว่ามาตรฐาน โดยที่มีค่า Cpk เท่ากับ 0.04 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 6.621 มิลลิเมตร ขณะที่ผลการปรับปรุงส่งผลให้ค่า Cpk ของ คาวิตี้ (cavity) เท่ากับ 1.60 โดยมีค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 6.651 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.006 มิลลิเมตรเท่านั้น

5.5.2 สรุปผลการปรับปรุงคุณภาพของ Hub-C2 ในคลัสเตอร์ (cluster) ที่ 2 ซึ่งประกอบด้วย คาวิตี้ (cavity) E, F, G และ H

- คาวิตี้ (cavity) E มีการเพิ่มขึ้นของค่า Cpk จาก 1.80 เป็น 1.91 โดยค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางมีค่าเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย โดยมีค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางภายหลังจากการปรับปรุง

มีค่าใกล้เคียงกับค่ากลางมากขึ้นโดยมีค่าเท่ากับ 6.649 มิลลิเมตรในขณะที่ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานก่อนและหลังการปรับปรุงมีค่าใกล้เคียงกัน

- คาวิตี (cavity) F มีการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัดเช่นกันโดยที่ค่า Cpk มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจาก 1.14 เป็น 1.74 โดยที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางภายหลังการปรับปรุงจาก 6.644 เป็น 6.654 มิลลิเมตรและมีการปรับลดลงของค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจาก 0.007 มิลลิเมตร เป็น 0.005 มิลลิเมตรซึ่งส่งผลให้ค่า Cpk เพิ่มขึ้นและสัดส่วนของเสียลดลง
- คาวิตี (cavity) G มีการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัดเช่นกันโดยที่ค่า Cpk ก่อนทำการปรับปรุงมีค่าเท่ากับ 0.96 โดยมีค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 6.643 มิลลิเมตรและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.008 มิลลิเมตร ในขณะที่ผลการปรับปรุงภายหลังการผลิต 1 เดือนส่งผลให้มีค่า Cpk เท่ากับ 1.74 โดยที่มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานลดลงจาก 0.008 เป็น 0.005 มิลลิเมตร
- คาวิตี (cavity) H มีการเปลี่ยนแปลงของค่า Cpk จาก 1.17 เป็น 1.54 โดยที่ค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางก่อนและหลังการปรับปรุงมีค่าเท่ากันแต่ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าลดลงจาก 0.008 มิลลิเมตรเป็น 0.006 มิลลิเมตร ซึ่งทำให้ค่า Cpk เพิ่มขึ้น ซึ่งสามารถพิสูจน์ได้ว่าการปรับปรุงในครั้งนี้ส่งผลต่อการลดลงของสัดส่วนของเสียของ Hub-C2 อย่างมีประสิทธิภาพ

5.5.3 สรุปการปรับปรุงคุณภาพของ Hub-C2 ใน คลัสเตอร์ (cluster) ที่ 3 ซึ่งประกอบด้วย คาวิตี (cavity) I, J, K และ L

- คาวิตี (cavity) I มีการปรับปรุงเพิ่มขึ้นของค่า Cpk จาก 1.22 เป็น 1.86 โดยมีการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางจาก 6.642 มิลลิเมตรเป็น 6.648 มิลลิเมตร โดยที่ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานปรับลดลง ภายหลังการปรับปรุงจาก 0.006 มิลลิเมตรเป็น 0.005 มิลลิเมตร
- คาวิตี (cavity) J มีลักษณะคล้ายกับ คาวิตี (cavity) I โดยที่ค่า Cpk ก่อนการปรับปรุงเท่ากับ 1.40 และค่า Cpk ภายหลังการปรับปรุงเท่ากับ 2.31 ซึ่งการเพิ่มขึ้นของค่า Cpk มีผลกระทบจากค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางภายหลังการปรับปรุงมีค่าใกล้เคียงศูนย์กลางมากขึ้น โดยเปลี่ยนแปลงจาก 6.641 มิลลิเมตรไปเป็น 6.652 มิลลิเมตร และขณะเดียวกันส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานก็มีค่าลดลงด้วย
- คาวิตี (cavity) K จากรายละเอียดที่กล่าวมาในข้างต้นว่าก่อนทำการปรับปรุงนั้น คาวิตี (cavity) K ไม่สามารถจะใช้งานได้เนื่องจากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดไว้จึงจำเป็นต้องมีการอุด คาวิตี (cavity) K ไว้โดยที่ข้อมูลก่อนการอุดนั้น

คาวิตี (cavity) K มีค่า Cpk เท่ากับ 0.04 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 6.619 มิลลิเมตร และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.008 มิลลิเมตร ภายหลังจากการปรับปรุง 1 เดือนผลการปรับปรุงมีค่า Cpk เท่ากับ 1.60 โดยที่ค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางเปลี่ยนจาก 6.619 เป็น 6.651 มิลลิเมตร ในขณะที่ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าลดลงจาก 0.008 มิลลิเมตร เป็น 0.006 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นการพิสูจน์ว่าผลการปรับปรุงมีประสิทธิภาพส่งผลให้สัดส่วนของเสียมีค่าลดลง

- คาวิตี (cavity) L มีการปรับเปลี่ยนค่า Cpk เพิ่มขึ้นเช่นกันโดยที่ค่า Cpk มีการเปลี่ยนแปลงจาก 1.53 เป็น 2.27 โดยมีการเปลี่ยนแปลงทั้งค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานไปในทิศทางที่ดีขึ้น

5.5.4 สรุปการปรับปรุงคุณภาพ Hub-C2 ใน คลัสเตอร์ (cluster) ที่ 4 ซึ่งประกอบด้วย คาวิตี (cavity) M, N, O และ P

- คาวิตี (cavity) M มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของค่า Cpk ภายหลังจากการปรับปรุงจาก 1.33 เป็น 1.81 โดยที่มีผลจากค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางที่เปลี่ยนจาก 6.644 มิลลิเมตรเป็น 6.647 มิลลิเมตร ขณะเดียวกันส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานก็มีค่าลดลงด้วย
- คาวิตี (cavity) N มีการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัดเจนโดยที่ค่า Cpk ก่อนการปรับปรุงมีค่าเท่ากับ 0.67 ซึ่งมีสัดส่วนของเสียเกิดขึ้นมากโดยมีค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 6.634 มิลลิเมตร ภายหลังจากการปรับปรุงค่า Cpk ของ คาวิตี (cavity) N มีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 1.93 ซึ่งอยู่ในระดับที่มีสัดส่วนของเสียน้อยมากและค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางมีค่าเท่ากับ 6.651 ซึ่งเข้าใกล้ค่าศูนย์กลางมาก (6.650 มิลลิเมตร) โดยที่ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าลดลงจาก 0.007 มิลลิเมตรเป็น 0.005 มิลลิเมตร
- คาวิตี (cavity) O เป็นอีกหนึ่ง คาวิตี (cavity) ที่ค่า Cpk ติดลบโดยมีค่าเท่ากับ -0.27 ก่อนทำการปรับปรุงโดยมีค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 6.616 ซึ่งไม่เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ดังนั้น คาวิตี (cavity) จึงถูกทำการอุดไว้ชั่วคราว แต่ภายหลังจากการปรับปรุงคุณภาพ คาวิตี (cavity) O มีการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 6.616 มิลลิเมตร เป็น 6.651 มิลลิเมตร ซึ่งทำให้มีค่า Cpk เพิ่มขึ้นเป็น 1.90 ขณะที่ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเท่าเดิมคือ 0.005 มิลลิเมตร
- คาวิตี (cavity) P คือ Cpk มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจาก 1.17 เป็น 2.17 โดยที่การขยับตัวของค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางเข้าหาคู่ศูนย์กลางมากขึ้นคือค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางก่อนการปรับปรุงมีค่าเท่ากับ 6.641 มิลลิเมตร ขณะที่ค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลาง ภายหลังจากการ

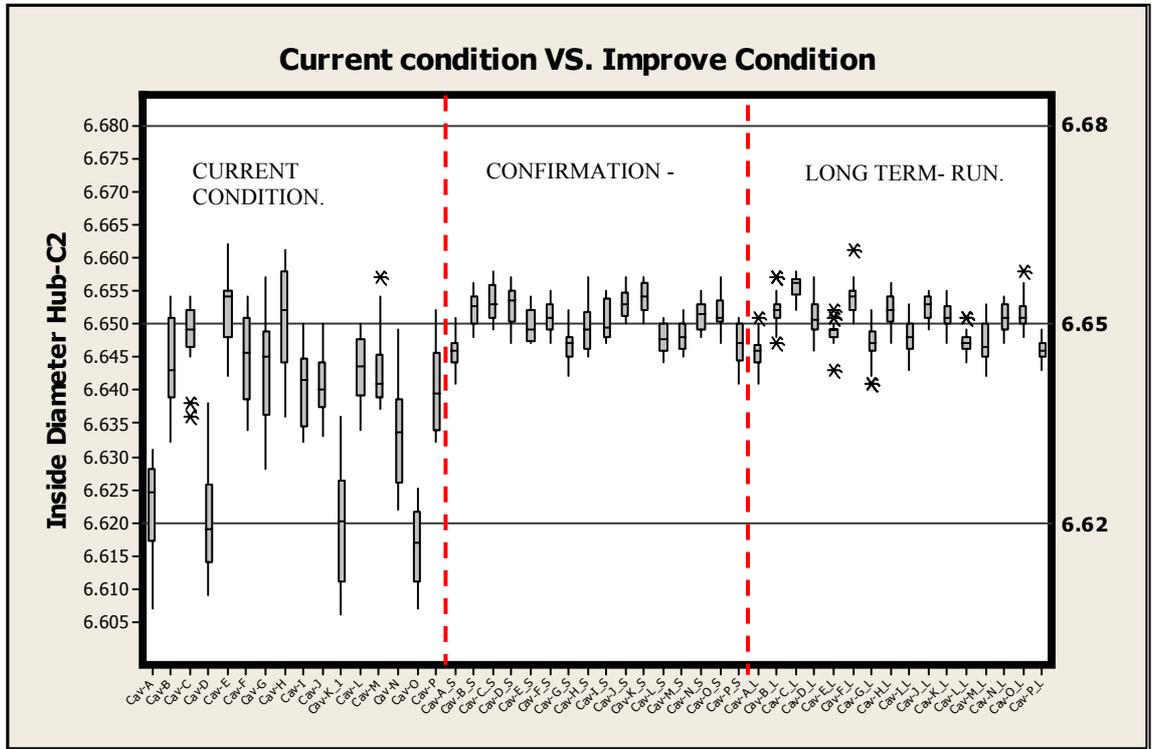
ปรับปรุงมีค่าเท่ากับ 6.646 มิลลิเมตร โดยที่ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าลดลงจาก 0.006 มิลลิเมตรเป็น 0.004 มิลลิเมตร

จากผลสรุปการปรับปรุงคุณภาพของเส้นผ่านศูนย์กลางของ Hub-C2 ทั้ง 16 คาวิตี (cavity) นั้นสามารถเห็นได้ชัดว่าค่าดัชนีความสามารถของกระบวนการ (Cpk) มีการเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเจน โดยเฉพาะ 4 คาวิตี (cavity) ที่มีการขูดไว้ก่อนการปรับปรุงคือคาวิตี (cavity) A, D, K และ O ดังนั้นการปรับปรุงในครั้งนี้เป็นการพิสูจน์แล้วว่ามึผลต่อการลดสัดส่วนของเสียลงอย่างมีประสิทธิภาพในตารางที่ 5.43 และภาพที่ 5.23 จะเป็นการสรุปให้เห็นภาพรวมของค่าดัชนีความสามารถของกระบวนการ (Cpk) ของสภาวะก่อนการปรับปรุงและสภาวะภายหลังการปรับปรุง โดยสภาวะหลังการปรับปรุงสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือการทดลองยืนยันผลและสภาวะการผลิตจริงภายหลังการปรับปรุง

ตารางที่ 5.43 แสดงการเปรียบเทียบค่าดัชนีความสามารถของกระบวนการ (Cpk) ของเส้นผ่านศูนย์กลางของ Hub-C2 ทั้ง 16 คาวิตี (cavity) ของสภาวะก่อนการปรับปรุงและภายหลังการปรับปรุง

Cavity	Current Condition.			Confirmation Run (ShortTerm -Run			onfirmation Run (Long Term -Run		
	Mean	Stdev.	Cpk.	Mean	Stdev.	Cpk.	Mean	Stdev.	Cpk.
A	6.622	0.006	0.11	6.646	0.003	2.94	6.646	0.004	2.14
B	6.644	0.007	1.14	6.652	0.002	4.64	6.652	0.005	1.87
C	6.648	0.005	1.87	6.653	0.003	2.97	6.655	0.003	2.73
D	6.621	0.008	0.04	6.652	0.003	3.06	6.651	0.006	1.60
E	6.653	0.005	1.80	6.650	0.003	3.33	6.649	0.005	1.91
F	6.644	0.007	1.14	6.652	0.002	4.75	6.654	0.005	1.74
G	6.643	0.008	0.96	6.646	0.003	2.92	6.654	0.005	1.74
H	6.652	0.008	1.17	6.650	0.003	3.31	6.652	0.006	1.54
I	6.642	0.006	1.22	6.651	0.003	3.27	6.648	0.005	1.86
J	6.641	0.005	1.40	6.653	0.002	4.35	6.652	0.004	2.31
K	6.619	0.008	-0.04	6.653	0.002	4.43	6.651	0.006	1.60
L	6.643	0.005	1.53	6.648	0.002	4.64	6.647	0.004	2.27
M	6.644	0.006	1.33	6.648	0.002	4.74	6.647	0.005	1.81
N	6.634	0.007	0.67	6.651	0.002	4.77	6.651	0.005	1.93
O	6.616	0.005	-0.27	6.652	0.003	3.15	6.651	0.005	1.90
P	6.641	0.006	1.17	6.646	0.003	2.90	6.646	0.004	2.17

ภาพที่ 5.23 แสดงการเปรียบเทียบเส้นผ่านศูนย์กลาง Hub-C2 ทั้ง 16 คavity (cavity) ของสภาวะก่อนการปรับปรุงและภายหลังการปรับปรุงโดยใช้กราฟ Box-Plot



5.6 ดัชนีความสามารถของกระบวนการโดยรวมของกระบวนการผลิต Hub-C2

จากวิธีการคำนวณค่าดัชนีความสามารถของกระบวนการโดยรวมและนำมาประยุกต์ใช้ในผลงานวิจัยฉบับนี้เพื่อคำนวณดัชนีความสามารถโดยรวมของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง Hub-C2 ภายหลังและก่อนทำการปรับปรุงของกระบวนการฉีดพลาสติกดังแสดงในตารางที่ 5.44

ตารางที่ 5.44 แสดงการคำนวณสัดส่วนของเสียของ Hub-C2 ก่อนและหลังทำการปรับปรุงในทุกๆ คาวิตี (cavity) โดยเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานด้านต่ำและด้านสูง

Cavity	Current Condition.		Improve Condition	
	Percentage below LSL	Percentage above USL	Percentage below LSL	Percentage above USL
A	33.64	0.000	0.000000099	0.00000000
B	0.02	0.000	0.000000000	0.00000004
C	0.00	0.000	0.000000000	0.00000000
D	44.81	0.000	0.000001003	0.00001287
E	0.00	0.000	0.000000014	0.00000000
F	0.01	0.000	0.000000008	0.00004947
G	0.30	0.001	0.000069467	0.00000009
H	0.00	0.010	0.000001587	0.00009849
I	0.02	0.000	0.000000079	0.00000000
J	0.00	0.000	0.000000000	0.00000001
K	52.25	0.000	0.000045246	0.00017896
L	0.00	0.000	0.000000038	0.00000000
M	0.01	0.000	0.000019115	0.00000004
N	4.14	0.000	0.000000003	0.00000006
O	76.73	0.000	0.000000163	0.00000421
P	0.07	0.000	0.000000000	0.00000000
% " Out" for all cavities	13.249	0.001	0.0000086	0.0000215
Avg. % "Out" for process.	0.8	0.00004558	0.000000534	0.00000134
Nor dist	0.99171919	0.99999954	0.999999995	0.999999987
Z Value	2.40	4.91	5.72	5.56
PPM.	8281	0.45578	0.005345	0.013446

จากตารางที่ 5.44 ซึ่งแสดงถึงสัดส่วนของเสียในทุกๆ คาวิตี (cavity) โดยทำการเปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุงโดยแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์ของเสียและเปรียบเทียบกับมาตรฐานทั้งสองด้านรวมทั้งแสดงสัดส่วนของเสียโดยเฉลี่ยของทั้ง 16 คาวิตี (cavity) และเปลี่ยนแปลงเป็นค่า Z เพื่อนำไปคำนวณค่า Cpk ดังแสดงรายละเอียดต่อไปนี้

ค่า Cpk ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางก่อนทำการปรับปรุง

$$\bar{C}_{pk} = \frac{\text{Min}(Z_{LSL}, Z_{USL})}{3}$$

$$\bar{C}_{pk} = \frac{\text{Min}(2.40, 4.91)}{3}$$

$$\bar{C}_{pk} = 0.8$$

ค่า Cpk ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายหลังการปรับปรุง

$$\begin{aligned}\bar{C}_{pk} &= \frac{\text{Min}(Z_{LSL}, Z_{USL})}{3} \\ \bar{C}_{pk} &= \frac{\text{Min}(5.72, 5.56)}{3} \\ \bar{C}_{pk} &= 1.85\end{aligned}$$

จากผลการทดลองและนำมาคำนวณค่าดัชนีความสามารถของกระบวนการโดยรวม พบว่าค่า Cpk โดยเฉลี่ยก่อนทำการปรับปรุงทั้ง 16 คาวิตี้ (cavity) มีค่าเท่ากับ 0.8 ซึ่งมีสัดส่วนของเสียโดยเฉลี่ยโดยประมาณเท่ากับ 8,281 ppm เมื่อเทียบกับมาตรฐานด้านต่ำในขณะเดียวกันค่า Cpk โดยเฉลี่ยหลังทำการปรับปรุงมีค่าเท่ากับ 1.85 ซึ่งมีสัดส่วนของเสียโดยเฉลี่ยโดยประมาณเท่ากับ 0.018 ppm เท่านั้น ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าวิธีการปรับปรุงคุณภาพกระบวนการฉีดพลาสติกของ Hub-C2 โดยใช้วิธีการออกแบบการทดลองตามแนวทาง “ ทากูชิ ” สามารถที่จะลดสัดส่วนของเสียจาก 8,281 ppm เป็น 0.01 ppm โดยค่า Cpk โดยเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจาก 0.8 เป็น 1.85